



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DE SEVILLA



TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA
INDUSTRIAL

**ANÁLISIS DE PROCESOS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
AFECTADAS POR VERTIDOS DE VENDIMIA
EN POBLACIONES CON ELEVADA
ESTACIONALIDAD. APLICACIÓN PARA EL
DISEÑO DE LA EDAR DE SANLUCAR DE
BARRAMEDA.**

Autor/a: Tamara Sáenz Rondan

Tutor/a: Laura Concepción Pozo Morales

Cotutor/a: Emilio Díaz Ojeda

Curso Académico: 2019/2020

RESUMEN

Se presenta el dimensionamiento de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) afectada por estacionalidad y por vertidos de la industria vitivinícola para obtener un tratamiento de depuración que cumpla con los requisitos legales de vertido. Para ello se estudian dos procesos biológicos, fangos activos y aireación prolongada, optando finalmente por el primero de éstos, el cual contempla el funcionamiento de una o dos líneas de proceso en función del caudal afluente.

Palabras clave: fangos activos, aireación prolongada, estacionalidad, aguas residuales.

ABSTRACT

The dimensioning of the Wastewater Treatment Plant of Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) is presented affected by seasonality and by discharges from the wine industry in order to obtain a purification treatment that complies with the legal landfill requirements. For this purpose, two biological processes, activate sludge and prolonged aeration are studied, opting finally for the first one, which contemplates the operation of one or two process lines depending on the tributary flow.

Keywords: active sludge, prolonged aeration, seasonality, wastewater.

I. ÍNDICE GENERAL

I. INDICE GENERAL

CAPITULO I: Índice general.....	1
CAPITULO II: Memoria descriptiva.....	1
CAPITULO III: Memoria de cálculos.....	1
CAPITULO IV: Planos.....	1

II. MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE: MEMORIA DESCRIPTIVA

1. OBJETIVO	5
1.1. Objetivo principal	5
1.2. Objetivo secundarios	5
2. ALCANCE	6
3. ANTECEDENTES	6
4. DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS	7
5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	8
6. BIBLIOGRAFÍA	9
7. REQUISITOS DE DISEÑO	11
7.1. Estudio población equivalente de diseño	13
7.2. Dotación de caudal	14
7.3. Caudales de diseño	15
7.4. Resultados a obtener	17
8. ANÁLISIS DE SOLUCIONES. SISTEMA DE DEPURACIÓN PROPUESTOS	18
8.1. Introducción	18
8.1.1. Línea de agua	18
8.1.1.1. Decantación primaria	19
8.1.1.2. Tratamiento biológico	20
8.1.1.2.1. Depuración mediante fangos activos	21
8.1.1.2.2. Depuración mediante aireación prolongada	23
8.1.2. Línea de fangos	23
8.1.2.1. Espesado	24
8.1.2.2. Estabilización. Digestión anaerobia	25
8.1.2.3. Deshidratación	27
9. JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA ..	29
9.1. Descripción de las soluciones estudiadas	29
9.2. Descripción de la solución adoptada	36

1. OBJETO.

1.1. OBJETIVO PRINCIPAL.

El objeto del presente proyecto consiste en proporcionar una solución a la planta de depuración de las aguas residuales urbanas del municipio de Sanlúcar de Barrameda, la cual presenta un problema de estacionalidad producida por dos factores principales:

- La afluencia de turismo que experimenta en temporadas estivales provocando, durante los meses de verano, un incremento de caudal respecto al caudal medio de tratamiento del resto del año.
- Los vertidos recibidos por la industria vitivinícola, que aportan exceso de caudal y; sobre todo, contaminación principalmente orgánica.

Para ello, se estudiarán dos propuestas de depuración consistentes en el planteamiento de un sistema de aireación prolongada durante la mayor parte del año, en combinación con un sistema de depuración convencional por fangos activos y digestión anaerobia para aplicar en los periodos de estacionalidad. La alternativa estudiada a este sistema, será la implantación únicamente de un sistema de fangos activos con digestión anaerobia y cogeneración, el cual trabajará durante todo el año, pero lo suficientemente versátil como para afrontar las distintas variaciones de caudal y carga. Una vez seleccionado el sistema de depuración más idóneo, se procederá al dimensionamiento de las principales unidades del proceso de depuración para obtener una planta de vida útil de 20 años.

1.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS.

- Realización búsquedas de información sobre alternativas de tratamiento de aguas residuales para poblaciones con estacionalidad y análisis de los puntos más relevantes de un proyecto de ingeniería para su redacción y ejecución.
- Estudio y análisis de las diversas alternativas que se plantean para la E.D.A.R., buscando como fin la solución más adecuada desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental.
- Poner en práctica los conocimientos sobre el dimensionamiento de una estación depuradora de aguas residuales (E.D.A.R.).

2. ALCANCE.

El proyecto que se presenta, tiene el siguiente alcance:

- Diseño y dimensionamiento de las principales etapas que constituyen una estación depuradora de aguas residuales urbanas mediante un proceso que de solución al vertido de una población creciente y estacional. No se dimensiona el pretratamiento ya que la EDAR existente cuenta con un sistema apropiado, que en cualquier caso podría ser necesario renovar pero sin diferencias significativas con respecto al diseño actual.
- Comparación de las siguientes líneas de tratamiento: Depuración por fangos activos mediante sistema convencional con digestión anaerobia y cogeneración frente a un sistema de aireación prolongada.
- Elección de la solución más apropiada.

3. ANTECEDENTES.

Sanlúcar de Barrameda (Cádiz) en la actualidad dispone de una estación depuradora de aguas residuales urbanas (EDAR) que trata el agua residual procedente del municipio mediante un proceso de fangos activos.

Sanlúcar de Barrameda se caracteriza por ser una zona de interés turístico, lo que implica que se produzca una demanda estacional de agua. La estacionalidad constituye un factor determinante de la eficiencia de los procesos ya que supone que una EDAR esté funcionando a plena capacidad sólo durante los meses de verano, siendo esto una problemática a la hora de diseñar ya que está puede sufrir problemas de infrautilización el resto del año.

Además de sus vertidos urbanos, este municipio recibe aguas de la industria vitivinícola, la cual genera un elevado volumen de aguas residuales procedentes de limpiezas de equipos, circuitos y de la maquinaria empleada en su actividad (fermentación, prensas, barricas, etc.). Dichas aguas residuales contienen altos niveles de DQO, sólidos en suspensión y pH ácidos, por lo que es necesario realizar in situ previamente un tratamiento adecuado para el posterior vertido de estos efluentes a la EDAR. Desde el año 2000, la Unión Europea estableció el marco legislativo mediante la Directiva Marco del Agua (*Directiva 2000/60/EC, 2000*) para asegurar la calidad de las aguas. A nivel nacional, la legislación española (Real Decreto 606/2003; Ley de Aguas 2001) obliga a clasificar los vertidos generados en función de la actividad industrial desempeñada y establece la autorización para el vertido de aguas residuales industriales a partir de los límites establecidos.

La depuración de las aguas residuales es un objetivo medioambiental básico de la Unión Europea que persigue la protección del medio ambiente y la obligatoriedad de la depuración de las aguas residuales urbanas de todos los núcleos de población de más de 2000 habitantes.

4. DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS.

Las disposiciones legales y normas aplicadas que se han empleado para la redacción de este proyecto son:

- **Normativa de carácter europeo.**

- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2.000, por lo que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 2455/2001/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de noviembre de 2001, por lo que se aprueba la lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE.
- Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Directiva 98/15/CE de la Comisión de 27 de febrero de 1.998 por la que se modifica la Directiva 91/271/CEE, de 21 de mayo, del Consejo en relación con determinados requisitos establecidos en su Anexo I, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

- **Normativa de carácter nacional.**

- Ley 11/1995, de 28 de Diciembre, por lo que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales.
- Real Decreto 509/1.996, de 15 de marzo, de desarrollo del citado Real Decreto-Ley 11/1.995. Esta disposición complementa las normas sobre recogida, depuración y vertido de las aguas residuales urbanas, y completa la incorporación de la norma comunitaria al ordenamiento jurídico español.

- Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (1.995 – 2.005), aprobado por el Consejo de Ministros el 17 de Febrero y por la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Vivienda en la Resolución de 28 de abril de 1.995.
- Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.

- **Abreviaturas**

- EDAR – Estación Depuradora de Aguas Residuales
- DQO – Demanda Biológica de Oxígeno
- DBO₅ – Demanda Química de Oxígeno
- INE – Instituto Nacional de Estadística
- SSD – Sólido(s) en Suspensión Disueltos
- SSS – Sólido(s) en Suspensión Sedimentables
- SST – Sólido(s) en Suspensión Total
- NTK – Nitrógeno Total Kjeldahl
- P – Fósforo
- MES – Materia en Suspensión
- SS – Sólidos en Suspensión
- mg – miligramos
- L – litros
- N° - Número
- hab. Eq. – Habitantes(s) Equivalente(s)
- m – Metro(s)
- m² – Metro(s) Cuadrado(s)
- m³ – Metro(s) Cúbico(s)
- hab – Habitante(s)
- h – Hora(s)
- kg – Kilogramo(s)

- ml – Metro(s) Lineal(es)
- Rend. – Rendimiento(s)
- T.B. – Temporada(s) Baja(s)
- T.A. – Temporada(s) Alta(s)
- Sal. – Salida
- trat. – Tratamiento(s)
- Conct. – Concentración(es)
- F. A. – Fangos Activos.
- A. P. – Aireación Prolongada.

- **Definiciones**

- By – pass – Conducto artificial mediante el cual se comunican dos puntos.
- Estacionalidad – Que se produce en una de las estaciones del año.
- Lixiviados – Líquidos formados del resultado de su paso a través de un sólido.
- Flóculos – Conjunto de pequeñas partículas.
- Licor Mezcla – Homogeneizado del agua residual con los flóculos.
- Gasificación – Proceso donde un sustrato carbonoso es transformado en un gas combustible.
- Polielectrolito – Polímeros que poseen grupos electrolitos.
- Alimentación Escalonada – Tipo de proceso de fango activo en el cual se regula la alimentación del agua a lo largo del tanque.
- Desnitrificación – Proceso de eliminación de nitrógeno.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- Hernández Lehmann, A. (2015). *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales.*, 2ª Edición . Garceta Grupo Editorial. Madrid.

- Hernández Lehmann, A. (2015). *Depuración y desinfección de Aguas Residuales.*, 6ª Edición . Garceta Grupo Editorial. Madrid.
- Ramalho. R.S. (1991). *Tratamiento de aguas residuales* . Reverté, S.A. España.
- <http://depuradorasaguasresiduales.es/depuracion-de-aguas-residuales-industriales-en-la-industria-vinicola/>
- <http://aguasindustriales.es/depuracion-de-aguas-residuales-industriales-mediante-tecnologia-mbr/>
- <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2864>
- <https://docplayer.es/20703239-Fichas-tecnicas-de-etapas-de-proceso-de-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-textil-decantacion-primaria-convencional.html>
- <https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/fangos-activos.htm>
- <https://docplayer.es/36008154-Figura-esquema-de-un-tratamiento-de-aireacion-prolongada.html>
- <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/88845/Trabajo%20Fin%20de%20Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- https://www.researchgate.net/figure/Digestor-anaerobio-de-fase-unica-tanque-de-agitado-continuo-Metcalf-and-Eddy-1995_fig1_306033975
- https://www.intecsa-inarsa.com/images/BLOG/TRATAMIENTOS_BIOLOGICO_PROBLEMA_TICA_2014_1.pdf
- <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Tecnolog%C3%ADas+de+espesamiento.pdf/5937d248-06a9-c654-cd44-4583aca5acdb>
- <https://slideplayer.es/slide/10410765/>
- <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/309e2a94-6831-4bac-b15b-a9cac54cbae0/language-es>
- <https://www.boe.es/doue/1998/067/L00029-00030.pdf>

- <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2000-82524>
- <https://www.boe.es/boe/dias/1995/12/30/pdfs/A37517-37519.pdf>
- <https://www.boe.es/boe/dias/1996/03/29/pdfs/A12038-12041.pdf>
- <https://www.boe.es/boe/dias/1995/05/12/pdfs/A13808-13824.pdf>
- <https://www.boe.es/buscar/pdf/2010/BOE-A-2010-13465-consolidado.pdf>
- <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1991-80646>

7. REQUISITOS DE DISEÑO.

En este apartado se expondrán los datos de partida que se emplearán para el dimensionamiento de la EDAR, tanto para temporada baja como temporada alta, así como el estudio de la población obtenido para un año horizonte de 20 años, dotación de caudal, datos de contaminación del agua residual bruta y resultados previstos a obtener.

7.1. ESTUDIO POBLACIÓN EQUIVALENTE DE DISEÑO.

El estudio de crecimiento de la población y la previsión de la población futura es necesario para poder realizar un adecuado dimensionamiento de la estación depuradora, ya que gracias a él, se podrá obtener el caudal de agua a tratar.

Posteriormente, determinada la población de diseño de una EDAR, se emplea el concepto de habitante equivalente a efectos de contaminación. Dicho concepto es una forma de expresar la cantidad de contaminación emitida por persona al día, se define como la carga orgánica biodegradable con una demanda biológica de 5 días (DBO₅) de 60 g O₂/día (artículo 2.d del Real Decreto-Ley 11/1995).

Según los datos del censo de población del Instituto Nacional de Estadística (INE) del municipio de Sanlúcar de Barrameda, la evolución de la población en los últimos años, junto con el incremento anual de la población por año se refleja en la tabla 1.

AÑO	HABITANTES	INCREMENTO ANUAL (%)
1998	61.382	0
1999	61.648	0,433
2000	61.966	0,516
2001	61.737	-0,370
2002	61.908	0,277
2003	62.308	0,646
2004	62.662	0,568
2005	63.187	0,838
2006	63.509	0,510
2007	63.968	0,723
2008	64.434	0,728
2009	65.805	2,128
2010	66.541	1,118
2011	66.944	0,606
2012	67.308	0,544
2013	67.301	-0,010
2014	67.385	0,125
2015	67.433	0,071
2016	67.620	0,277
2017	67.640	0,030
2018	68.037	0,587

Tabla 1. Población e incremento anual del municipio de Sanlúcar de Barrameda.

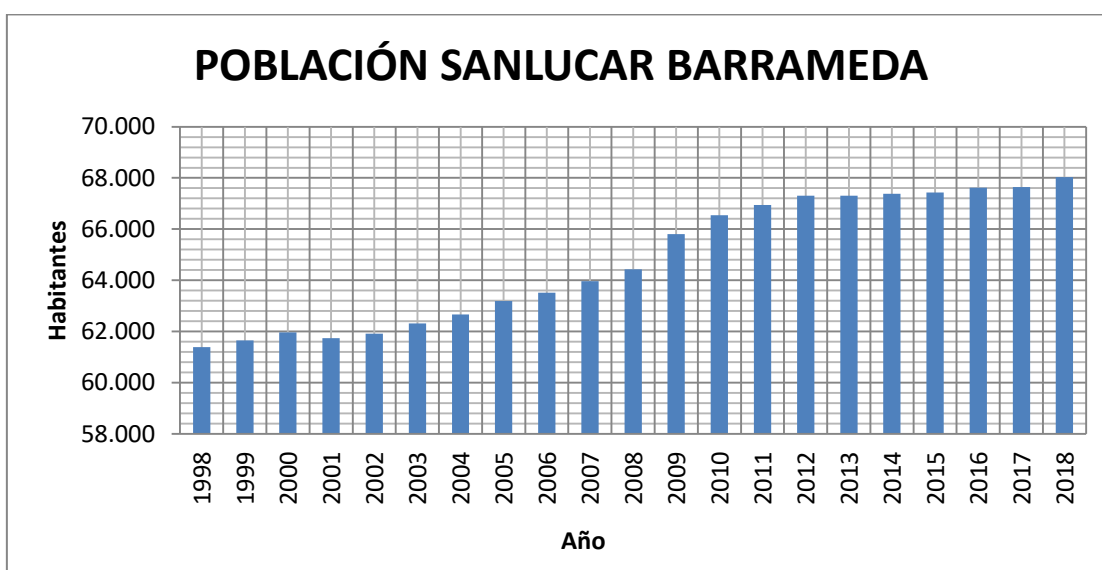


Gráfico 1. Incremento de la población de Sanlúcar de Barrameda.

Tanto en la tabla 1 como en el gráfico 1 se puede observar que la población estacional en los últimos 20 años ha crecido considerablemente. A partir de estos datos se obtendrán la población futura para los próximos 20 años mediante la siguiente expresión:

$$P_{\text{futura}} = P_{\text{actual}} \times \left(1 + n^{\circ} \text{ años} \times \left(\frac{\text{incremento anual medio (\%)}}{100} \right) \right) \quad (7.1.1)$$

Puesto que Sanlúcar de Barrameda es un pueblo turístico y por tanto posee estacionalidad, se tendrá que para la temporada baja, la población prevista será de 76.896 habitantes y para la temporada alta (épocas veraniegas), suponiendo en dicha época un incremento del 30 % de la población, se prevé una población de 99.965 habitantes.

Por tanto, la población de diseño para temporada baja y temporada alta será de 80.000 habitantes equivalentes y 111.000 habitantes equivalentes respectivamente. En el caso de la temporada alta, se incrementa el número de habitantes con respecto a los resultados obtenidos debido a que durante esa época del año también se produce la cosecha de uvas y la posterior realización del vino en las industrias vitivinícolas por lo que se incrementa cierto porcentaje el efluente que llega a la EDAR.

7.2. DOTACIÓN DE CAUDAL.

La dotación de caudal es el volumen medio diario estimado de agua por cada habitante. La dotación de agua en función de la población en España, tiene los valores indicados en la tabla 2.

POBLACIÓN (hab.eq)	DOTACIÓN (L/hab.eq.día)
2.000	150 – 200
2.000 – 50.000	200 – 250
50.000 – 500.000	250 – 300
> 500.000	300 - 350

Tabla 2. Dotación de caudal por habitantes equivalente.

Se observa, por tanto, que para una población de 80.000 y 111.000 habitantes equivalentes, el caudal que se debe de tomar se comprende en el rango de

250-300 L/hab.eq.día. Teniendo en cuenta los hábitos de consumo de agua en la población objeto del presente, donde los periodos de sequía han creado hábitos de ahorro en el consumo de agua entre los habitantes de la misma, se toma como dato de partida 250 L/hab.eq.día.

7.3. CAUDALES DE DISEÑO.

El caudal de agua a tratar es un dato esencial a la hora de realizar el dimensionamiento de una planta depuradora, ya que es necesario conocer el volumen de agua que llega diariamente, así como conocer su variación, valores máximos y mínimos y caudales puntas que pueden producirse en determinados momentos para poder realizar un correcto diseño que permita abordar dichas variaciones.

Con los datos de población y de dotación de caudal de los apartados 7.1 y 7.2 respectivamente, se podrá obtener los caudales de diseño, los cuales son:

- Caudal diario (Q_d). Será el volumen diario total de efluente que llegará a la EDAR. Será el resultado de aplicarle a la población equivalente, la dotación de diseño asignada.
- Caudal medio (Q_{med}). Es el mismo concepto que caudal diario pero siendo en este caso el caudal por hora que llega a la EDAR por día.
- Caudal máximo (Q_{max}). Es el incremento de caudal que se produce sobre el caudal medio debido a la llegada a la planta de aguas pluviales, lixiviados u otros factores como la industria. Se obtiene mediante el empleo de un coeficiente máximo que se encuentra en el intervalo de 1,5 y 2,5, empleando 2,4 en este caso.
- Caudal punta (Q_{punta}). Es el incremento de caudal que se produce sobre el caudal medio de diseño, que se recibe en la planta depuradora en determinadas horas puntuales del día. Para su obtención se emplea un coeficiente punta comprendido entre 1,5 y 2,5. En este proyecto se empleará un coeficiente de punta de 1,5.

Así pues, en función de lo habitantes equivalentes para cada temporada y de la dotación asignada se obtendrá que los caudales de diseño para esta planta depuradora serán los representados en la tabla 3.

CAUDAL	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
Caudal diario (m ³ /día)	20.000	27.750
Caudal medio (m ³ /h)	833	1.156
Caudal punta (m ³ /h)	1.250	1.734
Caudal máximo (m ³ /h)	2.000	2.775

Tabla 3. Datos de caudales para temporada baja y alta.

7.4. CARGAS CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES BRUTAS.

Son muchos los factores que provocan que un agua sea considerada residual (patógenos, bacterias, suciedad, etc.), pero dentro de los muchos parámetros, los principales que caracterizan un agua residual bruta y se deben tener en cuenta en mayor importancia para un buen dimensionamiento y desinfección de las aguas para que cumpla con el marco normativo legal son:

- DBO₅ o demanda biológica de oxígeno. Parámetro que mide la cantidad de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos, cuando se produce la degradación de la materia orgánica en determinadas condiciones y un tiempo, concretamente, en 5 días.
- DQO o Demanda química de oxígeno. Parámetro que mide la cantidad de sustancias que disueltas en suspensión en una muestra de agua residual susceptibles de ser oxidadas por medios químicos, como por ejemplo, con dicromato potásico.
- Sólidos en suspensión o Materia en suspensión (MES o SS). Mide la cantidad de sólidos totales, tanto orgánicos como inorgánicos, que se encuentran en suspensión en las aguas residuales. Estos a su vez pueden clasificarse en dos tipos:
 - Sólidos Suspensión Sedimentables (SSS), los cuales debido a su propio peso pueden sedimentar por efecto de la gravedad.
 - Sólidos Suspensión no Sedimentables (SSNS), que debido a su reducida masa o su estado coloidal no sedimentan.

Existen otros parámetros fundamentales como el nitrógeno total (NTK) y fósforo (P), pero en este caso, no son de importancia relevante debido a que Sanlúcar de Barrameda se caracteriza por ser zona no sensible, siendo parámetros que se medirán puntualmente cada cierto tiempo para llevar un control pero no estando sujetos a obligación de depurar.

Las variaciones de DQO₅ y DBO a lo largo del año son los mostrados en la tabla 4.

MES	DQO ₅ (mg/L)	DBO (mg/L)
Enero	396	186
Febrero	545	260
Marzo	298	136
Abril	390	183
Mayo	512	237
Junio	493	225
Julio	650	260
Agosto	474	227
Septiembre	466	265
Octubre	390	191
Noviembre	328	145
Diciembre	461	183

Tabla 4. Datos reales de DBO y DQO proporcionados por "EDAR GUADALQUIVIR".

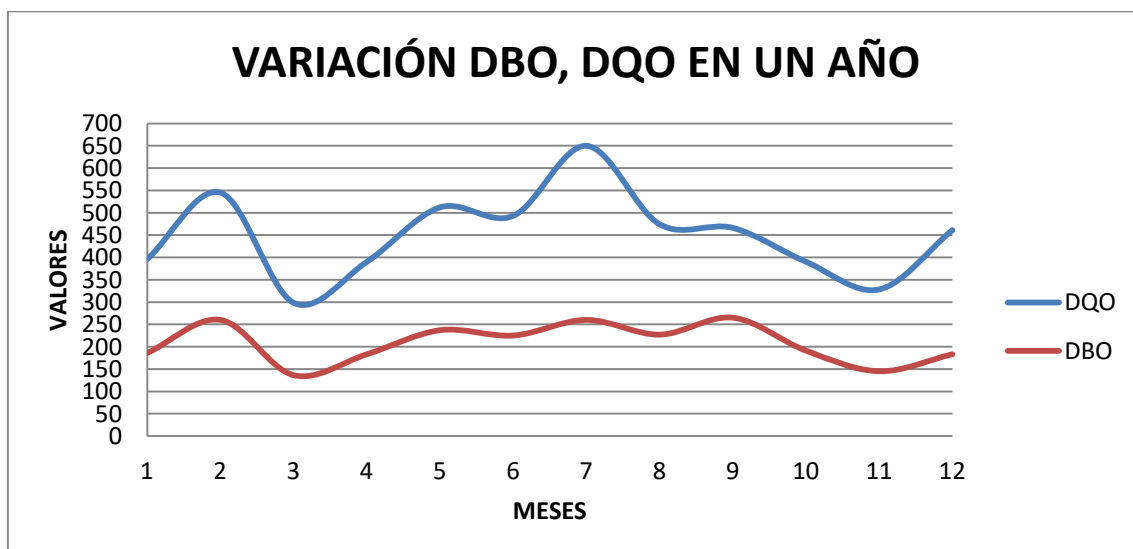


Gráfico 2. Datos de variación DBO₅ y DQO en el año 2018.

En el gráfico 2, se puede observar que en los meses de verano (junio, julio, agosto y septiembre), es donde se produce unos picos más elevados con

respecto al resto del año, a excepción de ciertos meses debida a las épocas festivas o por el incremento de las aguas pluviales, dato a tener en cuenta ya que durante ese año hubo grandes inundaciones. Por tanto, realizando una media de estos datos facilitados por la “EDAR Guadalquivir de Sanlúcar de Barrameda” para las diferentes temporadas, se llega a la obtención de los siguientes datos de partida de contaminación de las aguas.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA		TEMPORADA ALTA	
	Concentración (mg/l)	Carga Diaria (Kg/día)	Concentración (mg/l)	Carga Diaria (Kg/día)
DBO ₅	195	3.900	245	6.799
DQO	415	8.300	525	14.569
MES	360	7.200	440	12.210

Tabla 5. Datos de concentración y carga de los parámetros de la EDAR.

7.5. RESULTADOS A OBTENER.

De acuerdo con la Directiva del Consejo de la Comunidad Europea de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas (91/271/CEE) y su transposición a la normativa española en RD 11/1995 de 28 de Diciembre. RD509/1996 de 15 de Marzo. RD 2116/1998 de 2 de Octubre, las aguas ya depuradas deben cumplir con una serie de requisitos antes de ser vertidas finalmente a un cauce natural.

Los parámetros y sus valores mínimos requeridos para que se considere que las aguas se encuentran en condiciones aptas y poder así obtener los límites de dimensionamiento de las instalaciones se recoge en la tabla 6.

PARÁMETROS	CONCENTRACIÓN DE SALIDA (mg/l)	PORCENTAJE MÍNIMO DE REDUCCIÓN (%)
MES	35	90
DBO	25	70 – 90
DQO ₅	125	75
SEQ. FANGOS	25	25 - 30
EST. FANGOS		60

Tabla 6. Valores mínimos exigidos para la depuración de las aguas residuales urbanas.

8. ANÁLISIS DE SOLUCIONES. SISTEMAS DE DEPURACIÓN PROPUESTOS.

8.1. INTRODUCCIÓN.

La EDAR GUADALQUIVIR del municipio de Sanlúcar de Barrameda actualmente se basa en un tratamiento biológico convencional de fangos activos. Sin embargo, debido a su problema de estacionalidad no hace frente con suficiente fiabilidad a los vertidos que recibe.

En este proyecto se propone unificar un tratamiento para hacer frente a las diferentes temporadas. Se analizan dos tipos de procesos biológicos convencionales: fangos activos y aireación prolongada y contempla la posibilidad de combinación de ambos, de modo que durante la temporada alta se emplee el tratamiento por fangos activos y en temporada baja el tratamiento por aireación prolongada. A continuación, se realiza una breve descripción de los diferentes elementos de las que constará el proceso de depuración propuesto.

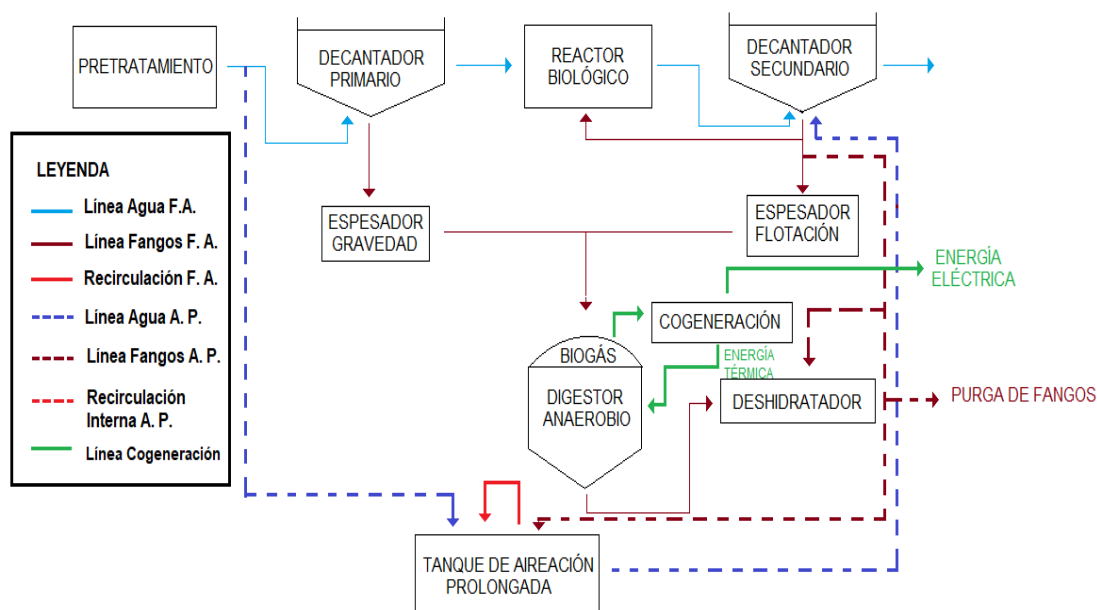


Figura 8.1.1: Esquema del proceso propuesto.

8.1.1. LÍNEA DE AGUA.

La línea de agua se divide en tres procesos fundamentales; el pretratamiento, el tratamiento primario y el tratamiento secundario. Este proyecto se centrará, en el tratamiento primario y secundario, con el dimensionamiento de sus principales elementos.

8.1.1.1. DECANTACIÓN PRIMARIA.

Algunas sustancias debidas a su reducido tamaño o densidad, no son retenidas por los diversos elementos que componen el pretratamiento (rejillas, desarenadores, desengrasadores, etc.), ni pueden separarse mediante flotación por ser más pesadas que el agua. Debido a ello, se produce la decantación primaria, cuyo principal objetivo consiste en la eliminación de dichas sustancias o sólidos sedimentables por acción de la gravedad.

La decantación provoca que las partículas cuya, densidad sea mayor que el agua, sedimenten en el fondo del decantador, formando los fangos primarios, mientras que el agua libre de partículas sólidas pesadas sale del decantador por la parte superior del mismo. Esta agua se denomina agua decantada o clarificada y continuará a la siguiente etapa de la depuración. Todo esto se consigue gracias a la reducción de la velocidad de corriente por debajo de un determinado valor en función de la eficacia deseada en la decantación, hasta lograr que las partículas en suspensión se depositen en un tiempo de retención. En la decantación primaria se consigue la eliminación de un 50% a un 60% de las materias en suspensión. Una parte significativa de estas partículas sedimentadas es materia orgánica, alcanzando así una reducción significativa de la DQO y DBO₅, por lo que se puede considerar que se produce también una depuración biológica.

Existen múltiples tipos de decantadores (circulares, rectangulares, etc.), pero en este proyecto se emplearán los circulares, puesto que son más fáciles y simples de mantener, son más eficaces que los rectangulares y más económicos. Los decantadores circulares consisten en una cuba, cuya base es un cono invertido con una pendiente de solera, aproximadamente del 12 %, para facilitar el arrastre de los fangos primarios a una poceta siendo alimentado por la zona central mediante tubería que realiza su descargar protegida por una campana deflectora.

Los elementos fundamentales de un decantador son:

- Entrada del afluente con campana deflectora, cuya misión es difundir la corriente de alimentación homogéneamente por todo el tanque desde el primer momento.
- Deflectores, se colocan en la entrada de la balsa para conseguir una buena repartición del caudal y a la salida de la balsa para la retención de sustancias flotantes, grasas y espumas.
- Vertedero de salida, donde se deposita el agua clarifica para pasar al tratamiento secundario.

- Puente decantador, el cual consiste en un puente que gira radial y lentamente con objeto de no provocar turbulencias en su desplazamiento. Pueden ser de dos o cuatro brazos, los cuales cada uno consta de rasquetas de fondo, para el arrastre de los sólidos sedimentados y rasquetas superficiales para la eliminación de grasa y espumas.

En este proyecto se establece la geometría del/los decantadores así como se calculan las dimensiones, ya que la relación entre estas deber se las adecuadas para la obtención de una buena sedimentación.

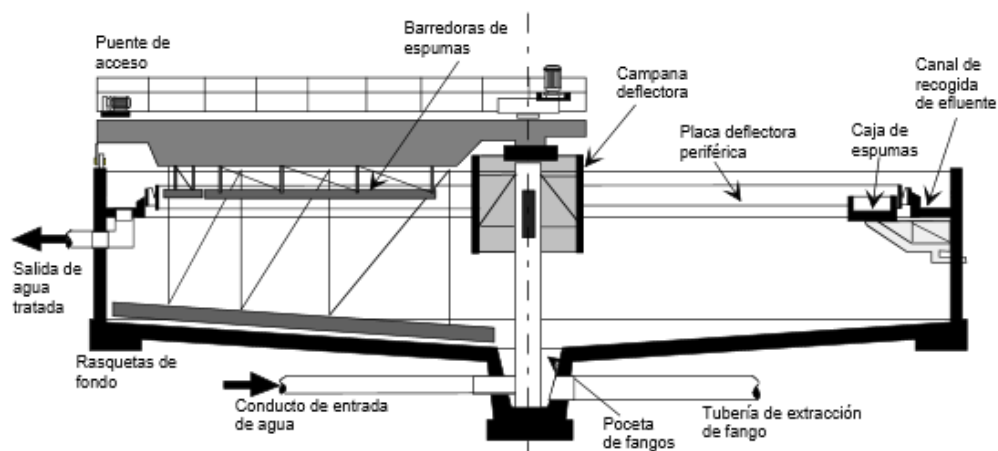


Figura 8.1.1.1.1: Decantador.

Para el dimensionamiento del decantador primario se tendrá en cuenta los siguientes parámetros de diseño, los cuales se describen con mayor detalle en la memoria de cálculo de este mismo proyecto.

- Carga superficial o velocidad ascensional.
- Caudal medio y caudal punta.
- Tiempo de retención hidráulico.
- Carga de sólidos.

8.1.1.2. TRATAMIENTO BIOLÓGICO.

Se analiza el comportamiento de la EDAR con dos tipos de reactores biológicos como se ha mencionado en el apartado 8.1.

En esta etapa de tratamiento, se lleva a cabo una depuración biológica de las aguas residuales que consiste en un proceso realizado por un grupo de

microorganismos (fundamentalmente bacterias y protozoos) que en presencia de una importante cantidad oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal presentes en el agua, siendo capaces de metabolizarla como nutrientes, gases y materia celular que podrá ser separada fácilmente mediante sedimentación.

Los objetivos de estos tratamientos son la eliminación o transformación de la materia orgánica y su floculación posterior para su eliminación final por sedimentación. En todo momento hay que controlar la población de microorganismos, ya que una sobrepoblación provocaría que se reduzca el oxígeno teniendo consecuencias negativas en la eficacia del proceso así como una deficiencia de los mismos reducirá los niveles de depuración.

En los procesos biológicos existen tres tipos de reacciones fundamentales:

- Reacciones de síntesis. Se basan en la incorporación de materia orgánica a los microorganismos, teniendo como consecuencia el crecimiento de la masa de los organismos.
- Reacciones de oxidación. En estas reacciones, una parte de la materia orgánica se oxida, obteniéndose productos finales, dando lugar a su vez de energía para la obtención de nuevos tejidos.
- Respiración endógena. Citado textualmente, “*se caracteriza por el consumo que realizan las bacterias de su propia biomasa, a modo de reserva, para poder continuar con sus funciones vitales, de modo que decrece su materia activa y, por tanto, complementa la oxidación de a materia orgánica degradable*”.¹

8.1.1.2.1. DEPURACIÓN MEDIANTE FANGOS ACTIVOS.

El proceso de fangos activos es un sistema de tratamiento convencional basado en un proceso biológico aeróbico. En este tipo de depuración se distinguen dos operaciones: las reacciones biológicas y la separación de sólido-líquidos, llevándose a cabo cada una en las siguientes unidades, respectivamente:

- Reactor biológico. Lugar donde se mantiene un cultivo biológico (denominado licor mezcla), compuesto por microorganismos y agua

1

Hernández Lehmann, A. (2015). *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales.*, 2ª Edición . Garceta Grupo Editorial.

residual. El agua procedente del decantador primario se introduce de forma continua en el reactor, donde se encuentran los microorganismos que están siendo continuamente recirculados del decantador secundario. Estos se alimentan de las diversas sustancias que arrastra el agua, formándose en el proceso los denominados flóculos biológicos (agrupaciones de microorganismos, materia orgánica y sustancias minerales). Simultáneamente, se inyecta en el reactor oxígeno, teniendo éste la misión de producir la oxidación de la materia orgánica y a su vez, mantener una mezcla estable de las aguas y los microorganismos.

- Decantador secundario. Una vez que la materia orgánica ha sido suficientemente oxidada en el reactor, el licor mezcla pasa al decantador secundario donde se dejará reposar para que los fangos floculados sedimenten, consiguiendo separar el agua clarificada de los fangos. El funcionamiento de un decantador se explicó en el apartado 8.1.1.1., por lo que se tiene salida de agua clarificada y fangos secundarios. En este caso, gran parte de los fangos serán recirculados de nuevo al reactor, ya que son ricos en microorganismos activos para la depuración de la materia orgánica procedente del decantador primario, mientras que los restantes pasarán a la línea de fangos que se verá más adelante (apartados 8.1.2).

Los parámetros de diseño de los decantadores secundarios son los expuestos en el apartado 8.1.1.1. Seguidamente, los parámetros de diseño de los reactores biológicos son:

- Cargas volumétricas.
- Cargas másicas.
- Tiempos de retención.
- Edad de los fangos.

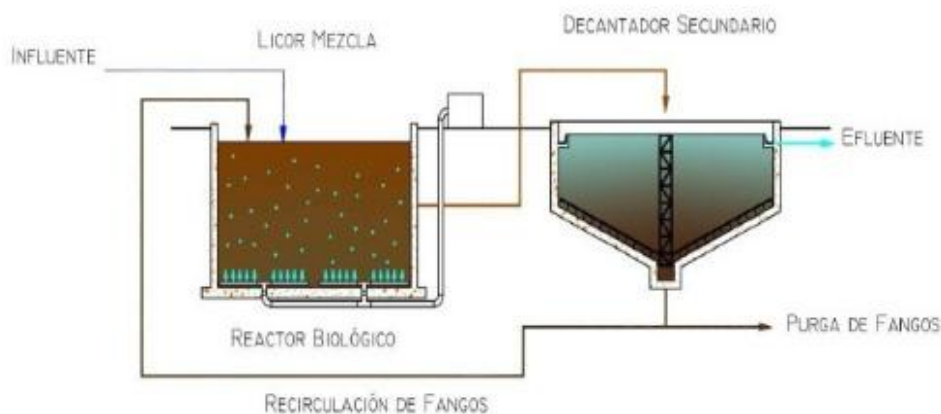


Figura 8.1.1.2.1.1: Sistema de fangos activos.

8.1.1.2.2. DEPURACIÓN MEDIANTE AIREACIÓN PROLONGADA.

Los principios de funcionamiento del tratamiento biológico mediante aireación prolongada son similares a los del tratamiento por fangos activos, excepto en algunos aspectos tales como:

- Los tiempos de retención hidráulicos y edad de fangos son más elevados.
- Cargas másicas inferiores.
- La respiración se produce en la fase endógena

Como consecuencia de la variación en estos parámetros, los microorganismos del tanque se mantienen en fase endógena, haciendo que el fango sea digerido en el propio reactor obteniéndose finalmente fangos secundarios que no precisan de estabilización posterior. Las condiciones de trabajo son tales que no es necesario un previo tratamiento de las aguas; es decir, no es necesaria la decantación primaria. Todo ello implica una importante simplificación de la línea de fangos.

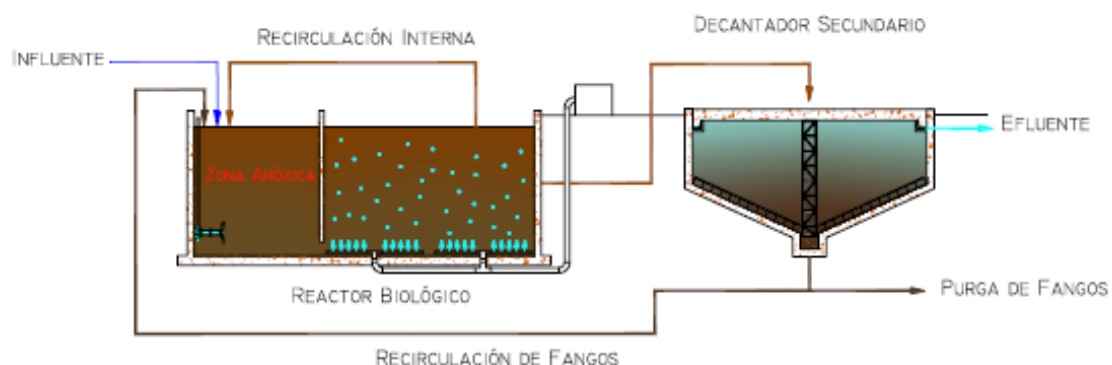


Figura 8.1.1.2.1: Sistema de depuración mediante aireación prolongada.

8.1.2. LÍNEA DE FANGOS.

En la depuración de la línea de agua, se ha concentra los contaminantes separados en forma de lodos en dos etapas del proceso: en el tratamiento primario, lo llamados fangos primarios, y el secundario, fangos secundarios.

La principal problemática de este subproducto generado, es que poseen un porcentaje muy elevado de materia orgánica o la presencia de organismos patógenos, siendo imposible su eliminación o reutilización sin un tratamiento

previo. Este tratamiento se divide en tres procesos: espesado, estabilización y deshidratación de lodos.

8.1.2.1. ESPESADO.

El principal objetivo del espesamiento de los fangos es el aumento de sólidos del fango por separación de sus fases sólidas y líquidas, consiguiendo reducir volúmenes de lodos. Los métodos más conocidos son espesamiento por gravedad, para tratar los fangos primarios, y espesamiento por flotación, para tratar los fangos secundarios.

- Espesamiento por gravedad. Su funcionamiento es similar al de un decantador común, diferenciándose fundamentalmente por las elevadas concentraciones iniciales en sólidos en suspensión. Se puede decir que se produce una separación sólido-líquido. El espesador consiste en una cuba cilíndrica el cual contiene dos brazos con rasquetas con objetivo de concentrar los sólidos y conducirlos a la parte central del fondo cónico para su extracción final hacia una poceta, mientras que la fase líquida se recoge por un vertedero perimetral y conducida a la cabecera de la planta.
- Espesamiento por flotación. Se emplean para los fangos procedentes del tratamiento biológico debido al bajo peso específico de los flóculos que se forman. Su funcionamiento consiste en introducir aire a presión en los lodos que poseen sólidos, lo cuales tienen tendencia natural a flotar. Las burbujas se fijan a los sólidos provocando que estos floten a la superficie del espesador, debido a su menor densidad donde serán recogidos por una rasqueta superficial.

Una vez espesados, estos pasarán a una cámara denominada cámara de mezcla, donde ambos fangos ya espesados se mezclará, para pasar a su estabilización.

Los parámetros de diseño necesarios para el dimensionamiento de ambos espesadores son:

- Tiempos de retención de los sólidos.
- Cargas hidráulicas.
- Cargas de los sólidos.

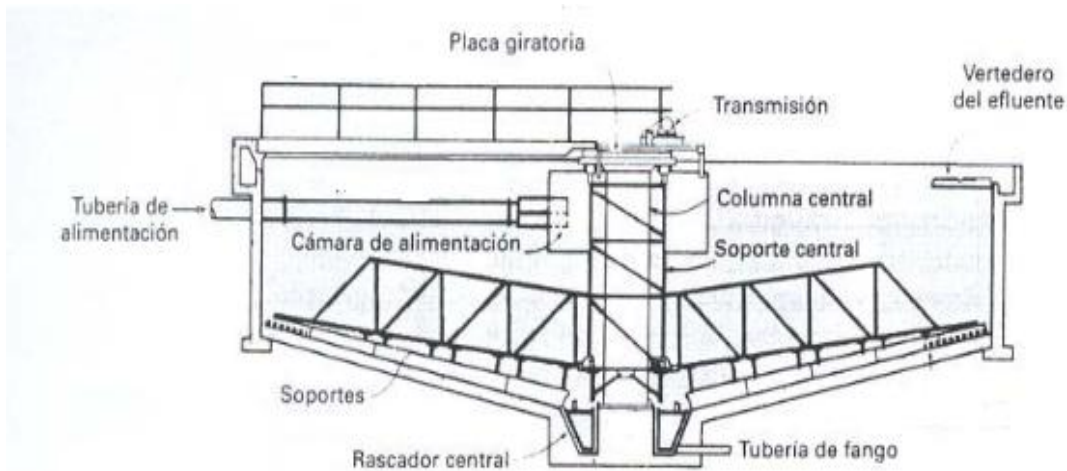


Figura 8.1.2.1.1: Espesador por gravedad.

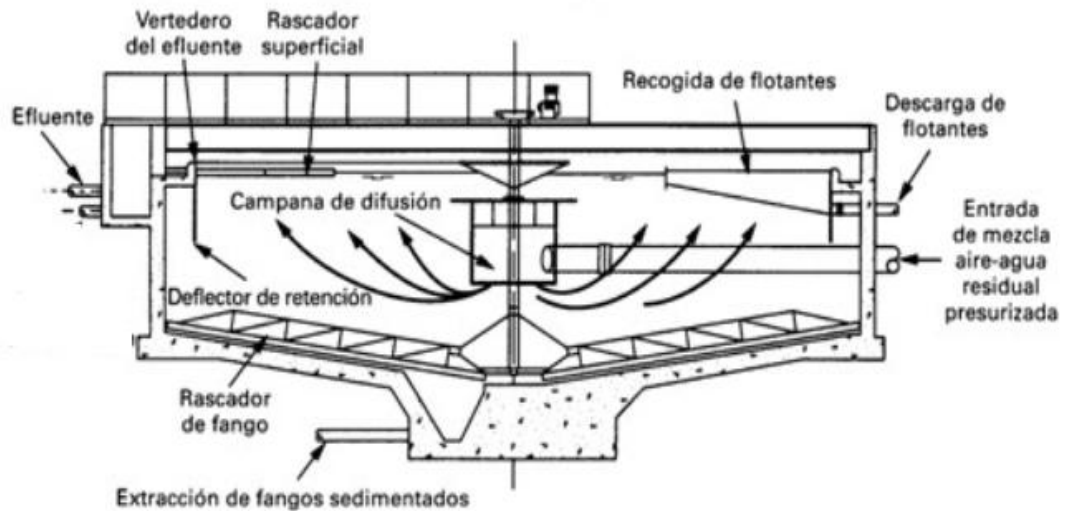


Figura 8.1.2.1.2: Espesador por flotación.

8.1.2.2. ESTABILIZACIÓN. DIGESTIÓN ANAEROBIA.

Debido a la elevada presencia de materia orgánica que componen los fangos, estos deben ser tratados mediante un proceso de estabilización. La estabilización de los fangos consiste en la eliminación de esa materia orgánica, mediante digestión anaerobia en este caso. La digestión anaerobia consiste en la descomposición de la materia orgánica por parte de bacterias en ausencia de oxígeno, las cuales consiguen el oxígeno necesario para el proceso del propio alimento. En este proceso se producirá biogás, el cual se podrá aprovechar para generar energía para la propia planta o se quemará hacia la atmósfera mediante antorchas.

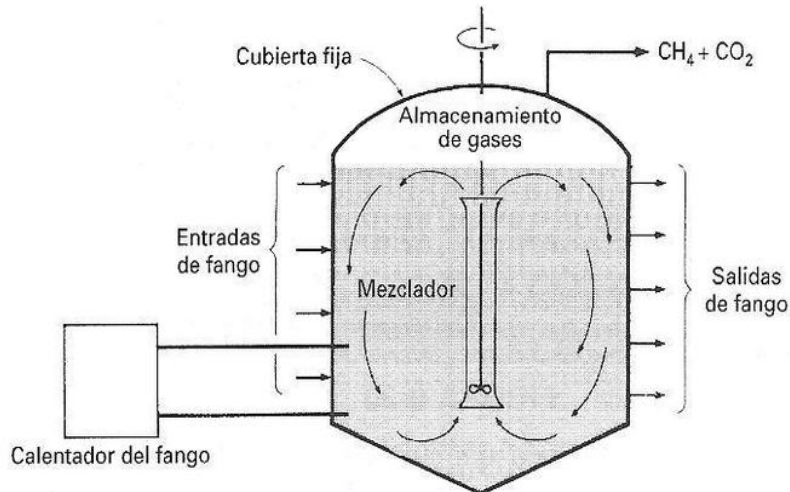


Figura 8.1.2.2.1: Digestor Anaerobio.

Las fases por las que pasa los fangos durante el proceso de estabilización son:

- Hidrólisis. Fase en la que se transforman los compuestos de elevado peso molecular (proteínas, carbohidratos, aminoácidos, etc.), gracias a la acción de enzimas extracelulares, en compuestos que pueden servir como fuente de energía y de carbono celular, siendo el producto final del proceso ácidos orgánicos volátiles.
- Acidogénesis. Conversión bacteriana de los elementos producidos en la hidrólisis en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular.
- Metanogénesis. Conversión bacteriana de los productos de la acidogénesis en productos más simples. En esta etapa de la digestión se produce la gasificación, donde se forma el biogás, compuesto principalmente de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), y la mineralización, donde la materia orgánica se descompone obteniendo un producto final inerte.

Un factor importante a la hora de realizar el dimensionamiento de los digestores es el efecto de la temperatura, como se observa en la figura 8.1.2.2.2.

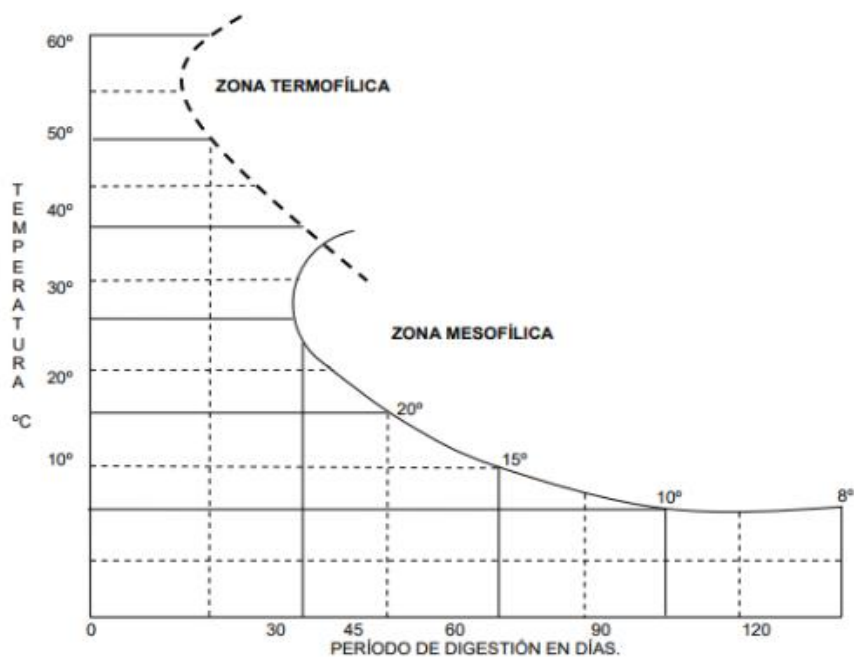


Figura 8.1.2.2.2: Efecto de la temperatura en el tiempo de digestión.

Los organismos mesófilos son organismos cuya temperatura de crecimiento óptima está entre el 12°C y el 35°C, optimizándose el proceso entre 29°C y 33°C. En el lado opuesto, los organismos termófilos son capaces de soportar elevadas temperaturas, (entre el 37°C y 65°C), con óptimos próximos a los 55°C. Si la digestión tiene lugar en zona termófila, provocará una menor permanencia de los organismos en los tanques de digestión debido a su sensibilidad a los cambios de temperatura. Por tanto, es recomendable la digestión en zona mesófila con temperatura controlada.

Los parámetros de diseños necesarios para el dimensionamiento de un digestor anaerobio son:

- Tiempos de retención.
- Cargas de sólidos.

8.1.2.3. DESHIDRATACIÓN.

Una vez espesados y estabilizados, los fangos poseen todavía una fracción líquida muy poco reducida por lo que se somete a un último tratamiento, denominado deshidratación, que consistirá en la eliminación del agua capilar y adherida a los fangos. La deshidratación se puede realizar mediante diversos sistemas; tanto naturales como artificiales, los cuales se resumen en la tabla 7.

MEDIO	SISTEMA	PROCESO
Naturales	Espesado	-Espesador continuo o discontinuo
	Deshidratación	- Eras de secado - Lagunas de fangos
	Secado	- Eras de secado
Artificiales	Espesado	- Espesador continuo o discontinuo - Espesador de flotación
	Deshidratación	- Filtro banda - Filtración por vacío - Filtro prensa - Centrífugas
	Secado	- Secador térmico.

Tabla 7. Sistemas de deshidratación de los fangos ²

La elección del sistema más adecuado dependerá del contenido de materia seca deseada en el fango final. Dentro de los procesos de deshidratación y filtración utilizados se encuentran:

- Eras de secado. Este método consiste en incorporar los fangos a una balsa, la cual contiene arena y fondo drenado, consiguiéndose una primera pérdida por drenaje gracias a la decantación de los fangos. También se producen pérdidas por evaporación.
- Filtros banda. Son dispositivos de alimentación continua que incluyen acondicionamiento químico, drenaje por gravedad y aplicación de presión para la deshidratación. El funcionamiento de estos filtros consiste en introducir el fango acondicionado en una zona de drenaje por gravedad. Pasado el drenaje, los fangos pasan a otra zona la cual se encuentra a baja presión, donde se comprime en dos telas porosas opuestas, prensándose. Estos esfuerzos de prensado favorecen la liberación de agua quedando como producto final tortas de fangos deshidratadas.
- Centrifugación. Este método se basa en el principio de separación sólido – líquido por diferencia de densidad. El fango se introduce a un caudal constante en una cuba giratoria (la cual puede ser cilíndrica, cónica o cilindrocónica) donde se separan en una torta densa que contienen los sólidos y; por otro lado, en una corriente diluida compuesta por sólidos finos de baja densidad.

² Hernández Lehmann, A. (2015), 20.

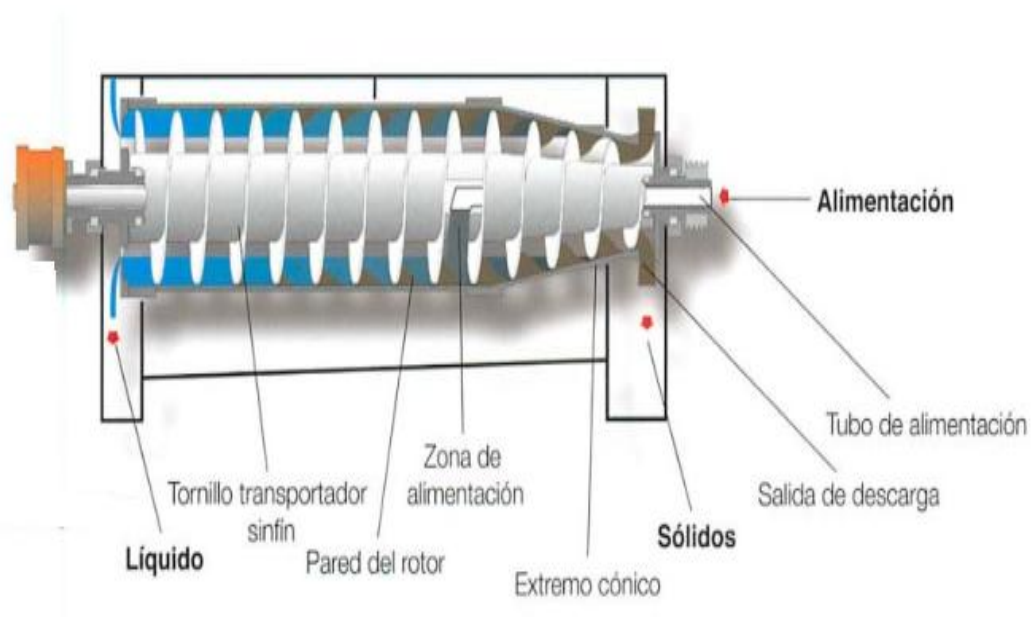


Figura 8.1.2.3.1: Centrífuga.

Los parámetros de diseño que se necesitan para el dimensionamiento de un deshidratador son:

- Tiempos de retención de los fangos.
- Concentración de los fangos deshidratados.
- Días de trabajo a la semana.
- Horas de funcionamiento diarias.

9. JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.

9.1. DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES ESTUDIADAS.

En la actualidad, Sanlúcar de Barrameda cuenta con una Estación Depuradora de Aguas Residuales mediante un proceso de fangos activos. Aunque dicha depuradora se encuentra en funcionamiento y cumple con los límites marcados por el reglamento, se podría decir que se trata de una infraestructura obsoleta. Esto último se debe a ciertos factores, como por ejemplo los años que posee la infraestructura provocando constantes averías, así como la antigüedad de los equipos seleccionados en él (decantadores rectangulares, reactores biológicos en dos fases, líneas de pretratamiento, etc.), llevando todo esto a que su mantenimiento sea más costoso para poder

seguir obteniendo buenos rendimientos. Otro factor importante a tener en cuenta es su ubicación (en pleno casco urbano), lo que provoca malos olores aunque este dotada de un sistema de desodorización, provocando constantes quejas por parte de la población.

Debido a ello, se decide proponer la construcción de una nueva EDAR la cual intentará abordar el principal problema que posee este municipio, su estacionalidad, de forma que los costos sean lo más reducidos posible para cada temporada del año y sus rendimientos sean óptimos.

La solución que se estudia en este proyecto consiste en una única EDAR, la cual pueda funcionar en base a dos procesos de tratamiento biológico alternativos durante las temporadas bajas del año, se realizará una depuración mediante aireación prolongada mientras que en temporadas altas del año se empleará el proceso de fangos activos, anulándose simultáneamente un sistema u otro en función del mes del año en que se encuentre.

Como se ha comentado anteriormente, la aireación prolongada es similar a la de fangos activos convencionales, con la excepción de que funciona en fase endógena, teniendo como consecuencia que el fango sea estabilizado en el mismo reactor. Esto poseerá ciertas ventajas entre ellas que la línea de lodos se vea reducida de ciertos elementos (dos tipos de espesadores que pasan a uno, digestores, línea de gas, etc.) y que no sea necesaria una decantación primaria. De esta forma se consigue una reducción de costes durante los 9 meses que se emplease este proceso puesto que su mantenimiento es fácil, económico y más sencillo de manejar que los procesos convencionales.

Por otro lado, durante la temporada alta se emplearía el proceso de fangos activos teniendo en cuenta todos los elementos presentes en la línea de lodos, realizando el cambio de un proceso a otro mediante by-pass en ciertas zonas de la instalación.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos y finalmente se justifica la solución adoptada a partir de los cálculos realizados para el diseño y dimensionamiento de los principales componentes de una EDAR.

- **Línea de aguas.**

- Decantación primaria.

Se instalarán dos decantadores circulares de gravedad como el mostrado en la figura 8.1.1.1, cuyos parámetros de diseño y dimensiones se muestran en la tabla 8.

PARÁMETRO	SIMBOLO (UNIDAD)	VALOR			
		T.B		T.A	
		Q _{med}	Q _{max}	Q _{med}	Q _{max}
Diámetro	d ₁ (m)	20			
Superficie Horizontal	S _{h1} (m ²)	315			
Volumen	V ₁ (m ³)	860			
Altura recta en vertedero	h ₁ (m)	2,74			
Pendiente Solera	α ₁ (°)	12			
Velocidad Giro Puente	v ₁ (m/h)	36			
Carga Superficial	Cs ₁ (m ³ /m ² .h)	1,33	1,99	2,84	2,84
Tiempo de Retención	t _{R1} (h)	2,1	1,4	1,5	1

Tabla 8. Dimensiones unitarias y parámetros de diseño en decantadores primarios.

Los rendimientos que se le van a exigir a la decantación primaria para obtener la mayor eliminación de sólidos en suspensión sedimentables van a ser de 35 % para DBO₅, 60 % para SST y un 35 % para la DQO, obteniendo con ellos la producción de fangos mostrados en la tabla 9.

PARÁMETRO		UNIDAD	T.B.	T.A.
DBO ₅	Peso diario entrada	kg/día	3.900	6.799
	Fangos retenidos		1.365	2.380
	Fangos en agua a trat. biológico		2.535	4.419
SST	Peso diario entrada	kg/día	7.200	12.210
	Fangos retenidos		4.320	7.326
	Fangos en agua a trat. biológico		2.880	4.884
	Fangos retenidos volátiles		2.808	4.762
	Concentración Fangos retenidos	%	10	
	Volumen Fangos extrae	m ³ /día	432	733
DQO	Peso diario entrada	kg/día	8.300	14.569
	Fangos retenidos		2.905	5.099
	Fangos en agua a trat. biológico		5.395	9.470

Tabla 9. Rendimientos y producción de fangos en la decantación primaria.

- Tratamiento biológico mediante fangos activos.

De la decantación primaria, el efluente pasará al reactor biológico de fangos activos. En este proyecto se instalarán dos reactores,

cuyas características y dimensiones unitarias se muestran en la tabla 10.

PARÁMETRO	SIMBOLO (UNIDAD)	VALOR	
		T.B.	T.A.
Superficie	S_r (m ²)	500	
Volumen	V_r (m ³)	2.500	
Altura de agua	h_r (m)	5	
Ancho	a_r (m)	20	
Longitud total	L_r (m)	25	
Tiempo retención hidráulico	t_{R2} (h)	6	4,32
Carga Volumétrica	C_v (kg DBO ₅ /m ³ /día)	0,51	0,88
Carga másica	C_m (kg DBO ₅ /kg MLSS)	0,20	0,27
Edad Fango	E (días)	8	5
Concentración de sólidos totales suspendidos o MLSS	S_0 (mg/L)	2.000	3.300

Tabla 10. Dimensiones unitarias y parámetros de diseño en reactores biológicos.

○ Tratamiento biológico mediante aireación prolongada.

Los valores obtenidos del dimensionamiento de la aireación prolongada para la instalación de dos reactores biológicos son:

PARÁMETRO	SIMBOLO (UNIDAD)	VALOR
Superficie	S_A (m ²)	4.000
Volumen	V_A (m ³)	20.000
Altura de agua	h_A (m)	5
Ancho	a_A (m)	25
Longitud total	L_A (m)	80

Tabla 11. Dimensiones unitarias de los reactores biológicos en aireación prolongada.

○ Decantador secundario.

Igual que con los decantadores primarios, se instalarán dos unidades siendo su forma y funcionamiento igual que los primarios cuyas dimensiones unitarias, parámetros de diseño y rendimientos obtenidos se pueden observar en las tablas 12 y 13. En el caso de los rendimientos, se van a exigir los límites marcados en la tabla 6 con respecto a los parámetros de DBO, DQO₅ y MES.

PARÁMETRO	SIMBOLO (UNIDAD)	VALOR			
		T.B.		T.A.	
		Q _{med}	Q _{max}	Q _{med}	Q _{max}
Diámetro	d ₂ (m)	33			
Superficie Horizontal	S _{h2} (m ²)	855			
Volumen	V ₂ (m ³)	3.500			
Altura recta vertedero	h ₂ (m)	3,50			
Pendiente Solera	α ₂ (°)	12			
Velocidad Giro Puente	v ₂ (m/h)	36			
Carga Superficial	C _{s2} (m ³ /m ² .h)	0,97	1,46	0,68	1,01
Tiempo de Retención	t _R (h)	4,2	5,6	6,05	4,03
Carga sobre vertedero	C _{h2} (m ³ /h/ml)	8	6	5,6	8,3

Tabla 12. Dimensiones unitarias y parámetros de diseño en decantadores secundarios.

PARÁMETRO	T.B.		T.A.	
	Rend.(%)	Sal.Planta (kg/día)	Rend.(%)	Sal. Planta (kg/día)
MES	75,96	700	80,11	971
DBO ₅	80,28	500	84,30	695
DQO	53,66	2.500	63,37	3.469
Fangos en exceso (kg SST/día)	2.321		4.191	

Tabla 13. Rendimientos y producción de fangos de la decantación secundaria.

- **Línea de lodos.**

- Espesadores.

Se instalarán dos espesadores de gravedad para los fangos primarios y dos espesadores por flotación para los fangos secundarios, empleando ambos o uno solo en función de la temporada en la que se encuentre. Estos espesadores serán circulares los cuales dispondrán de sistemas de rasquetas para la acumulación de fangos en su fondo. Los parámetros de diseño y dimensiones unitarias se resumen en la tabla 14.

ESPEADOR	PARÁMETRO	SÍMBOLO (UNIDAD)	VALOR
Gravedad	Superficie	$S_{EG} (m^2)$	40
	Diámetro	$d_{EG} (m)$	7
	Volumen	$V_{EG} (m^3)$	216
	Altura	$h_{EF} (m)$	5,40
	Concentración Fangos Espesados	$C_{F(EG)} (kg/m^3)$	80
	Volumen fangos	$F_1 (m^3/día)$	54 - 92
Flotación	Superficie	$S_{EF} (m^2)$	25
	Diámetro	$d_{EF} (m)$	6
	Volumen	$V_{EF} (m^3)$	75
	Altura		3
	Concentración Fangos Espesados	$C_{fe} (kg/m^3)$	4
	Volumen fangos	$V_{f(f)} (m^3/día)$	58 - 104

Tabla 14. Dimensiones unitarias de los espesadores.

- Digestor anaerobio.

Se instalará un único digestor anaeróbico de alta carga de única etapa. Este digestor poseerá un sistema de agitación '*Heat and mix*', aislamiento térmico en el propio digestor y un sistema de calentamiento de intercambiador de calor con calderas con quemadores metano-gas oíl. Con respecto a sus dimensiones se obtiene un digestor de 300 m² de superficie, con un diámetro de 20 m y volumen de 3.000 m³.

- Deshidratador.

Se emplearán dos centrifugas para la deshidratación, las cuales se verán ayudadas previamente por adición de un polielectrolito a los fangos procedentes del digestor. El rendimiento de la centrifuga será de un 90 % siendo la concentración de materia sólida de fango la salida de un 25 %.

9.2. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.

Una vez estudiadas las opciones propuestas y viendo los resultados obtenidos para la población la población y caudales, se concluye que la combinación de procesos para verano – invierno es desechada debida a que en aireación prolongada se obtiene unos volúmenes y dimensiones de reactor biológico demasiado elevadas en comparación con las dimensiones de los reactores de fangos activos, teniendo como resultado que la combinación de ambas para estos datos de partidas sea imposible.

Por ello, se diseñará una EDAR de fangos activos con suficiente versatilidad y cuyos valores son los ofrecidos en los apartados anteriores.

III. MEMORIA DE CÁLCULOS.

INDICE: MEMORIA DE CÁLCULOS

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. DATOS DE PARTIDA.....	5
2.1. Población de diseño.....	5
2.2. Caudales de diseño.....	5
2.3. Cargas contaminantes.....	7
2.4. Rendimientos de la planta y calidad del efluente.....	8
3. LÍNEA DE AGUA.....	8
3.1. Decantador primario.....	8
3.2. Depuración biológica.....	14
3.2.1. Proceso de fangos activos.....	14
3.2.2. Proceso de aireación prolongada.....	25
3.3. Decantador secundario.....	27
4. LÍNEA DE FANGOS.....	29
4.1. Espesador por gravedad.....	30
4.2. Espesador por flotación.....	33
4.3. Digestor anaeróbico.....	36
4.4. Deshidratador.....	42

1. INTRODUCCIÓN.

El objetivo de la presente memoria será el desarrollo y justificación del proceso de cálculo empleado para la obtención del dimensionamiento de la EDAR del municipio de Sanlúcar de Barrameda. Todo esto se ha obtenido con la ayuda de diversos manuales y guías; principalmente entre ellos “MANUAL Y DISEÑO DE ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES” por Aurelio Hernández Lehmann, los cuales se exponen en la bibliografía de este documento y los cálculos numéricos se han realizado mediante el apoyo de hojas de cálculo (software Microsoft Office Excel).

También se hará referencia a la normativa y de los diversos datos teóricos empleados para la obtención de las dimensiones y solución final adoptada de este proyecto.

2. DATOS DE PARTIDA.

2.1. POBLACIÓN DE DISEÑO.

Para calcular el número de habitantes equivalentes se empleará los datos expuestos en la tabla 1 de la memoria descriptiva. A partir de estos datos se obtendrán la población futura para los próximos 20 años mediante la siguiente expresión:

$$P_{FUTURA} = P_{ACTUAL} * \left(1 + N^o \text{ años} * \left(\frac{\text{INCREMENTO ANUAL MEDIO (\%)}}{100} \right) \right) \quad (2.1.1)$$

Teniendo en cuenta un incremento anual medio del 49,3 % y un incremento de población de un 30 % en las temporadas altas del municipio se llega a la conclusión que los habitantes equivalentes para los próximos 20 años es de 80.000 habitantes equivalentes para temporada baja y 111.000 habitantes equivalentes para temporadas altas.

2.2. CAUDALES DE DISEÑO.

- Caudal diario. Éste se obtendrá mediante la ecuación 2.2.1.

$$Q_d = \frac{\text{hab. eq} * D}{10000} \quad (2.2.1.)$$

Donde:

- Q_d = Caudal diario ($m^3/día$)
- Hab. Eq = Habitantes equivalentes
- D = Dotación de caudal (L/hab/día)

Los valores empleados para cada parámetro se representan en la tabla 15.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
Hab. Eq	80.000	111.000
D (L/hab/día)	250	250

Tabla 15. Datos de habitantes equivalentes y dotación de caudal empleados.

Por tanto, sustituyendo estos datos en la ecuación 2.2.1 se tendrá que el caudal diario para temporada baja será de $20.000 m^3/día$ y para temporada alta de $27.750 m^3/día$.

- Caudal medio. El caudal medio se obtendrá dividiendo el caudal diario de llegada a la entrada por 24 horas que posee el día teniendo que para temporada baja el caudal será de $833 m^3/h$ y para temporada alta $1.156 m^3/h$.
- Caudal punta. Éste se obtendrá mediante el caudal medio y el empleo de un coeficiente punta, el cual poseerá un valor de 1,5.

$$Q_{punta} = Q_{med} * F \quad (2.2.2.)$$

Donde:

- Q_{punta} = Caudal punta (m^3/h)
- Q_{med} = Caudal medio (m^3/h)
- F = Coeficiente de punta.

Siendo los valores de estos parámetros los expuestos en la tabla 16.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
$Q_{punta} (m^3/h)$	1.250	1.734
F	1,5	

Tabla 16. Valores de caudal medio y coeficiente punta.

Por tanto, sustituyendo estos datos en la ecuación 2.2.2 se tendrá que el caudal punta para temporada baja será de 1.250 m³/día y para temporada alta de 1.734 m³/día.

- Caudal máximo. Éste se obtendrá mediante el caudal medio y el empleo de un coeficiente máximo, el cual poseerá un valor de 2,4.

$$Q_{\max} = Q_{\text{med}} * C \quad (2.2.3.)$$

Donde:

- Q_{\max} = Caudal máximo (m³/h)
- Q_{med} = Caudal medio (m³/h)
- C = Coeficiente de máximo.

Reflejándose los valores de estos parámetros en la tabla 17.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
Q_{med} (m ³ /h)	833	1.156
C	2,4	

Tabla 17. Valores de caudal medio y coeficiente de máximo.

Por tanto, sustituyendo estos datos en la ecuación 2.2.3 se tendrá que el caudal punta para temporada baja será de 2.000 m³/h y para temporada alta de 2.775 m³/h.

2.3. CARGAS CONTAMINANTES.

Gracias a los datos proporcionados por la EDAR Guadalquivir, se empleará los datos de cargas contaminantes producidas en el año 2018. Estos datos se recogieron en la tabla 4 de la memoria descriptiva, a los cuales se le realizó una media en función de los meses que se encuentran en temporada baja y temporada alta. Se considera que los meses desde octubre hasta mayo pertenecen a la temporada baja y los meses de junio a septiembre son de temporada alta. Realizando una media de estos valores se obtiene que las cargas contaminantes de este proyecto sean los valores expuestos en la tabla 5 de la memoria descriptiva de este proyecto.

2.4. RENDIMIENTOS DE LA PLANTA Y CALIDAD DEL EFLUENTE.

Tanto los rendimientos previstos a obtener en la planta como calidad de efluente se exponen en la tabla 18.

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN SALIDA (mg/L)	T. BAJA		T. ALTA	
		Rend. (%)	Sal. Planta (kg/día)	Rend. (%)	Sal. Planta (kg/día)
MES	35	90,28	700	92,04	971
DBO ₅	25	87,18	500	89,8	694
DQO	125	69,88	2.500	76,2	3.469
SSV	45	-	-	-	-
ESTABILIDAD	55	-	-	-	-
SEQUEDAD	25	-	-	-	-

Tabla 18. Valores de concentración de salida y rendimientos.

Otro dato de partida importante a nombrar es las temperaturas a las que trabajará el reactor biológico. En este caso la temperatura mínima (T_{\min}) será de 15°C y la temperatura máxima (T_{\max}) será de 25 °C.

3. LÍNEA DE AGUA.

3.1. DECANTADOR PRIMARIO.

- Velocidad ascensional: Se define como el cociente entre el caudal a tratar y la superficie de decantación.

$$V_{\text{asc}} = \frac{Q}{S} \quad (3.1.1)$$

Siendo:

- V_{asc} = Velocidad ascensional (m/h).
- S = Superficie de decantación (m²).
- Q = Caudal medio o máximo a tratar (m³/h).

Los valores de la velocidad ascensional se encuentran tabulados en la tabla 19.

CAUDAL (m³/h)	VELOCIDAD ASCENSIONAL (m/h)		
	Valor Mínimo	Valor Típico	Valor máximo
Caudal medio	1	1,50	2
Caudal punta	2	2,50	3

Tabla 19. Velocidades ascensionales a caudal medio y punta para decantadores circulares.

Se tomará como valores de partida unas velocidades ascensionales de 1,50 m/h y 2,50 m/h para caudal medio y caudal punta respectivamente, empleándose las mismas tanto para temporada baja como temporada alta. Con éstas se podrá obtener la superficie de decantación para ambas temporadas, sustituyendo en la ecuación 3.1.1. Los resultados se reflejan en la tabla 20.

CAUDAL (m³/h)	SUPERFICIE HORIZONTAL (m²)	
	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
Caudal medio	556	771
Caudal punta	500	694

Tabla 20. Superficies horizontales para caudal medio y punta en temporada alta y baja.

Puesto que se van a instalar dos decantadores se tendrá que las superficies unitarias son:

CAUDAL (m³/h)	SUPERFICIE HORIZONTAL (m²)	
	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
Caudal medio	278	385
Caudal punta	250	347

Tabla 21. Superficies horizontales unitarias para caudal medio y punta en temporada alta y baja.

En función de los resultados obtenidos, se llega a la conclusión que la superficie unitaria final adoptada de los decantadores implantados será de 300 m².

- Tiempo de retención: Se define como el cociente entre el volumen del tanque de decantación y el caudal a tratar.

$$t_R = \frac{V}{Q} \quad (3.1.2.)$$

Siendo:

- V = Volumen de decantación (m³).
- Q = Caudal medio o máximo a tratar (m³/h).
- t_R = Tiempo de retención (h).

Los valores del tiempo de retención pueden obtenerse de la tabla 22.

CAUDAL (m ³ /h)	TIEMPOS DE RETENCIÓN (h)		
	Valor Mínimo	Valor Típico	Valor Máximo
Caudal medio	1,50	2	3
Caudal punta	1	1,50	2

Tabla 22. Tiempo de retención a caudal medio y punta para decantadores circulares.

Se tomará como valores de partida los valores típicos para ambas temporadas y sustituyendo en la ecuación 3.1.2 dichos valores, se obtendrá el volumen teórico del decantador, los cuales se reflejan en la tabla 23.

CAUDAL (m ³ /h)	VOLUMEN (m ³)	
	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
Caudal medio	1.667	2.313
Caudal punta	1.875	2.602

Tabla 23. Volúmenes para caudal medio y punta en temporada alta y baja.

Igual que con la superficie horizontal, se tendrá que los volúmenes unitarios son:

CAUDAL (m ³ /h)	VOLUMEN UNITARIO (m ³)	
	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
Caudal medio	833	1.156
Caudal punta	938	1.301

Tabla 24. Volúmenes unitarios para caudal medio y punta en temporada alta y baja.

En función de los resultados obtenidos en la tabla 24, se adopta un volumen unitario final de decantación de 860 m³.

- Relaciones dimensionales: Para la obtención de la altura y el diámetro del decantador, se tiene en cuenta las siguientes ecuaciones, las cuales hacen una relación dimensional con la superficie y el volumen obtenidos del decantador.

$$S = \pi * \left(\frac{D^2}{4} \right) \quad (3.1.3)$$

$$h = \frac{V}{S} \quad (3.1.4)$$

Siendo:

- S = Superficie horizontal de decantación (m²).
- D = Diámetro del decantador (m).
- V = Volumen de decantación (m³).
- h = Altura del decantador (m).

Sustituyendo los valores finales adoptados de superficie y volumen de decantación en las ecuaciones 3.1.3 y 3.1.4, se obtendrá que las dimensiones unitarias de los decantadores sean:

PARÁMETRO	SÍMBOLO (UNIDAD)	VALOR
Superficie Horizontal	S _{h1} (m ²)	300
Volumen Decantación	V ₁ (m ³)	860
Diámetro	d ₁ (m)	20
Altura	h ₁ (m)	2,74

Tabla 25. Dimensiones unitarias decantadores primarios.

Puesto que para los decantadores circulares el diámetro debe ser menor de 35 m y la altura menor de 3 m, estas dimensiones son adecuadas.

- Comprobación de los parámetros de diseño: Con los valores de la tabla 25 y sustituyendo en las ecuaciones 3.1.1 y 3.1.2, se comprueba si los parámetros de diseño cumplen con los valores mínimos y máximos.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA		TEMPORADA ALTA	
	Q_{med}	Q_{punta}	Q_{med}	Q_{punta}
V_{asc} (m/h)	1,33	1,99	1,84	2,76
t_{R1} (h)	2,1	1,4	1,5	1

Tabla 26. Comprobación de los parámetros de diseño.

Comprobando estos resultados con los de las tablas 19 y 22 se puede observar que cumple. Por tanto las dimensiones son válidas.

- Producción de fangos primarios: Se exigirá un rendimiento de los sólidos en suspensión total de un 60%, suponiendo que de estos la fracción de sólidos volátiles es de un 65 %. Los fangos producidos en la decantación primaria se obtiene con la ecuación 3.1.5.

$$F_{1(SST)} = \frac{K}{100} * P_1 \quad (3.1.5)$$

Siendo:

- $F_{1(SST)}$ = Fangos producidos en la decantación primaria (kg/día).
- K = Rendimiento sólidos en suspensión total (%).
- P_1 =Peso diario de entrada de sólidos en suspensión (kg_(SST)/día).

A partir de la producción de fangos, se podrá obtener la producción de fangos volátiles (ecuación 3.1.6).

$$F_{1(SSV)} = \frac{K'}{100} * F_{1(SST)} \quad (3.1.6)$$

Siendo:

- $F_{1(SSV)}$ = Fangos volátiles producidos en la decantación primaria ($\text{kg}_{(SSV)}/\text{día}$).
- K' = Rendimiento sólidos volátiles en la decantación (%).

El caudal de fangos a extraer se obtendrá como:

$$Q_{F1} = \frac{F_{1(SST)}}{C_{f1}} \quad (3.1.7)$$

Siendo " C_{f1} " la concentración de fangos a extraer en kg/m^3 .

En la tabla 27. se recogen los valores de estos parámetros, así como la producción final de ambos fangos y el volumen de fangos a extraer de la decantación primaria una vez sustituidos dichos parámetros en las ecuaciones 3.1.5, 3.1.6 y 3.1.7.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
k (%)	60	
P_1 (kg/día)	7.200	12.210
$F_{1(SST)}$ (kg/día)	4.320	7.326
k' (%)	65	
$F_{1(SSV)}$ (kg/día)	2.808	4.762
C_{f1} (kg/m^3)	10	
Q_{F1} ($\text{m}^3/\text{día}$)	432	733

Tabla 27. Cantidades de producción y extracción de fangos en la decantación primaria.

- Rendimientos decantación: Para considerar que en la decantación primaria se ha producido una buena eliminación de la mayor parte de las sustancias presentes en las aguas residuales, a éstas se les impone unos rendimientos mínimos para su eliminación. Los rendimientos exigidos; así como los resultados obtenidos para las diferentes sustancias, empleando la ecuación 3.1.5, se muestran en la tabla 28.

PARÁMETRO		UNIDAD	T.B.	T.A.
DBO ₅	Rendimiento decantación	%	35	
	Peso diario entrada	kg/día	3.900	6.799
	Fangos retenidos		1.365	2.380
	Fangos en agua a trat. biológico		2.535	4.419
SST	Rendimiento decantación	%	60	
	Peso diario entrada	kg/día	7.200	12.210
	Fangos retenidos		4.320	7.326
	Fangos en agua a trat. biológico		2.880	4.884
	Fangos retenidos volátiles		2.808	4.762
DQO	Rendimiento decantación	%	35	
	Peso diario entrada	kg/día	8.300	14.569
	Fangos retenidos		2.905	5.099
	Fangos en agua a trat. biológico		5.395	9.470

Tabla 28. Rendimientos de decantación.

3.2. DEPURACIÓN BIOLÓGICA.

3.2.1. PROCESO DE FANGOS ACTIVOS.

Los rendimientos y concentraciones en sustancias contaminantes en las aguas residuales salientes de la planta para ambas temporadas se muestran en la tabla 29.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA		TEMPORADA ALTA	
	η_{Bio} (%)	Conct (kg/día)	η_{Bio} (%)	Conct (kg/día)
SST	75,69	700	80,11	971
DBO ₅	80,23	500	84,30	694
DQO	53,66	2.500	63,37	3.469

Tabla 29. Concentraciones de salida y rendimientos de la depuración biológica de las aguas residuales.

- Volumen del reactor: Se instalarán dos reactores biológicos de alimentación escalonada, cuyo volumen se define con la ecuación 3.2.1.1.

$$V_r = \frac{P_r}{(S_0 * C_m)} \quad (3.2.1.1)$$

Siendo:

- V_r = Volumen del reactor (m^3).
- P_r = Peso diario de DBO_5 a la entrada del reactor (kg/día).
- S_0 = Concentración de sólidos totales suspendidos en el reactor o MLSS (kg/m^3).
- C_m = Carga másica (kg_{DBO5}/kg_{MLSS}).

En la tabla 27 se recoge los valores de “ P_r ” para ambas temporadas; así como en la tabla 30, se muestra los valores típicos para los diferentes parámetros en alimentación escalonada.

PARÁMETRO	VALOR
S_0 (kg/m^3)	2 – 3,5
C_m	0,2 – 0,4

Tabla 30. Valores típicos de los parámetros de diseño de un reactor biológico en alimentación escalonada.

En este proyecto, se empleará un valor de carga másica de 0,250 kg_{DBO5}/kg_{MLSS} para ambas temporadas y un valor de 2 y 3,3 kg/m^3 de MLSS para temporada baja y alta, respectivamente. Sustituyendo estos valores en la ecuación 3.2.1.1, se tendrá que el volumen total de los reactores para cada temporada es de 5.070 m^3 y 5.357 m^3 .

Con estos resultados, se adopta un volumen total final de 5.000 m^3 . Se van a instalar dos reactores, por lo que el volumen unitario de cada uno será de 2.500 m^3 .

- Comprobación límites de los parámetros: es necesario realizar la comprobación de los siguientes parámetros para verificar que los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en la tabla 31.

- Tiempo de retención, definido por la ecuación 3.2.1.2.

$$t_{R2} = \frac{V_r}{Q_{med}} \quad (3.2.1.2)$$

Siendo “ t_{R2} ” el tiempo de retención en horas.

- Carga másica, definida por la ecuación 3.2.1.3.

$$C_m = \left(\frac{1000 * (DBO_5 - \text{eliminación } DBO_5)}{S_0 * V_r} \right) \quad (3.2.1.3)$$

- Carga volumétrica, definida por la ecuación 3.2.1.4.

$$C_v = \frac{DBO_5}{V_r} \quad (3.2.1.4)$$

Siendo “ C_v ” la carga volumétrica en $kg_{DBO5 \text{ ENTRADA}}/m^3/\text{día}$.

- Edad de fango, definida por la ecuación 3.2.1.5.

$$E = \frac{1}{((0,2 * C_m) + (C_m^{1,5}))} \quad (3.2.1.5)$$

Siendo “E” la edad del fango en días.

PARÁMETRO	VALOR
t_{R2} (h)	4 – 8
C_v (kg/m ³ día)	0,14 – 0,40
E (día)	4 – 12
C_m	0,2 – 0,4

Tabla 31. Rango de valores de los parámetros de diseño.

Se tiene por tanto, que sustituyendo en las ecuaciones, los valores para ambas temporadas serán:

PARÁMETRO	VALOR	
	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
t_{R2} (h)	6	4,32
C_v (kg/m ³ /día)	0,51	0,88
E (día)	8	5
C_m	0,20	0,27

Tabla 32. Comprobación de los parámetros de diseño.

En la tabla 32, se observa que todos los valores se encuentran dentro de los límites exigidos de la tabla 30 por lo que se puede dar por válido el dimensionamiento de los reactores cuyas dimensiones unitarias se resumen en la tabla 33.

PARÁMETRO	SÍMBOLO (UNIDAD)	VALOR
Volumen	V_r (m ³)	2.500
Superficie	S_r (m ²)	500
Altura de agua	h_r (m)	5
Ancho	a_r (m)	20
Longitud total	L_r (m)	25

Tabla 33. Dimensiones unitarias de los reactores biológicos.

- Necesidad de oxígeno teórica: Para la obtención del oxígeno teórico consumido se empleará la ecuación 3.2.1.6.

(3.2.1.6)

$$O_2 \text{ (TOTAL)} = O_2 \text{ (SÍNTESIS)} + O_2 \text{ (ENDOGENESIS)}$$

Siendo:

- $O_2 \text{ (TOTAL)}$ = oxígeno necesario (kg/día).
- $O_2 \text{ (SÍNTESIS)}$ = Oxígeno consumido en la síntesis celular (kg(O₂)/día).
- $O_2 \text{ (ENDOGENESIS)}$ = Oxígeno consumido en la respiración celular (kg(O₂)/día).

Para poder obtener el oxígeno consumido tanto en la síntesis como en la endogénesis, es necesario el empleo de unos coeficientes los cuales se denominan “A” para la síntesis y “B” para la endogénesis. Sus valores pueden obtenerse mediante tablas o con el empleo de fórmulas, variando su valor en función del autor al que se refieran.

En este caso, los valores de “A” y “B” se obtendrán mediante el autor “MASTANTUONO”, los cuales son en función de la carga másica que se obtenga.

CARGA MÁSCA	COEFICIENTES	
	A	B
0,1	0,66	0,065
0,2	0,59	0,065
0,3	0,56	0,08
0,4	0,53	0,08
0,5	0,50	0,08

Tabla 34. Coeficientes A y B para la obtención de las necesidades de oxígeno³.

Realizando interpolación se obtiene que los valores de “A” y “B” sean de 0,5765 y 0,07175 respectivamente.

Se procede al cálculo del oxígeno consumido en la síntesis y endogénesis celular.

$$O_{2(SINTESIS)} = A * \frac{\eta_{Bio}}{100} * DBO_5 \quad (3.2.1.7)$$

$$O_{2(ENDOGENESIS)} = B * V_r * DBO_5 \quad (3.2.1.8)$$

Donde:

- η_{Bio} = Rendimiento reactor (%).
- V_r = Volumen del reactor (m³).

³ Hernández Lehmann, A. (2015). *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales.*, 2ª Edición . Garceta Grupo Editorial.

Sustituyendo, se obtiene que el oxígeno consumido en ambas fases y el total sean:

PARÁMETRO (kg/día)	VALOR	
	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
O ₂ (SÍNTESIS)	1.173	2.148
O ₂ (ENDOGENESIS)	718	1.184
O ₂ (TOTAL)	1.891	3.332

Tabla 35. Oxígeno teórico consumido.

- Necesidad de oxígeno teórica en situación punta: Para su obtención, se aplica un coeficiente punta en la síntesis celular.

$$O_{2(PUNTA)} = (k_P * O_{2(SINTESIS)}) + O_{2(ENDOGENESIS)} \quad (3.2.1.9)$$

Siendo:

- O₂ (PUNTA) = Oxígeno punta (kg(O₂)/h).
- k_p = coeficiente punta.

El coeficiente punta se obtiene mediante la ecuación 3.2.1.10.

$$k_p = 0,45 * P + 55 \quad (3.2.1.10)$$

Donde “P” es la punta de carga orgánica en %. En este caso, “P” será de 200 %, por lo que el coeficiente punta tiene un valor de 150 % al sustituir en la ecuación 3.2.1.10.

Sustituyendo en la ecuación 3.2.1.9, se tendrá que el oxígeno punta será de 103 kg (O₂)/h para temporada baja y 184 kg (O₂)/h para temporada alta.

- Necesidad de oxígeno real: El oxígeno obtenido en los apartados anteriores, hace referencia al oxígeno consumido en condiciones normales las cuales son necesarias pasarlas a condiciones reales de funcionamiento de los reactores. Para obtener el oxígeno real consumido por la masa bacteriana se emplea la ecuación 3.2.1.11.

$$O_{2(REAL)} = \frac{O_{2(TOTAL)}}{k_t} \quad (3.2.1.11)$$

Siendo:

- $O_{2(REAL)}$ = oxígeno real consumido por la masa bacteriana (kg(O₂)/día).
- K_t = coeficiente global de transferencia de oxígeno.

Para la obtención de dicho coeficiente, se requiere la multiplicación de otros tres coeficientes, siendo estos:

$$k_{t1} = \frac{C'_s - C_x}{C_s} \quad (3.2.1.12)$$

$$k_{t2} = 1,024^{(T-10)} \quad (3.2.1.13)$$

$$k_{t3} = \frac{\text{Capacidad de transferencia del oxígeno en el licor del reactor}}{\text{Capacidad del oxígeno en agua limpia}} \quad (3.2.1.14)$$

Donde:

- C'_s = Concentración de saturación del tanque de aireación (mg/L).
- C_x = Concentración media en oxígeno (mg/L).
- C_s = Saturación en agua clara (mg/L).

El valor de " C_x " es de 2 mg/L puesto que en el proceso no se lleva a cabo la desnitrificación. En el caso de " C_s ", su valor esta tabulado en función de la temperatura, los cuales se muestra en la tabla 36.

T (°C)	C _s (mg/L)	T (°C)	C _s (mg/L)
1	14,23	16	9,95
2	13,84	17	9,74
3	13,48	18	9,54
4	13,13	19	9,035
5	12,80	20	9,17
6	12,48	21	8,99
7	12,17	22	8,83
8	11,87	23	8,68
9	11,59	24	8,53
10	11,33	25	8,38
11	11,08	26	8,22
12	10,83	27	8,07
13	10,60	28	7,92
14	10,37	29	7,77
15	10,15	30	7,63

Tabla 36. Valores de C_s en función de la temperatura T (Hernández Lehmann, 2015)⁴

Se tomará un valor de “C_s” de 8,38 mg/L.

La concentración de saturación del tanque de aireación se obtiene mediante la ecuación 3.2.1.15.

$$C'_s = \beta \cdot C_p \cdot C_A \quad (3.2.1.15)$$

Siendo:

- β = coeficiente de materias en suspensión.
- C_p = Coeficiente de presión.
- C_A = Coeficiente de altura del agua.

Los valores de estos coeficientes así como los resultados de sustituir en las ecuaciones se resumen en la tabla 37.

⁴ Hernández Lehmann, A. (2015), 17.

PARÁMETRO	VALOR
β	0,98
C_p	0,99
C_A	1,17
C'_s	9,61
C_s	8,38
C_x	2
kt_1	0,91
kt_2 (Tmin)	0,79
kt_2 (Tmax)	1,43
kt_3	0,55
k_t (Tmin)	0,39*
k_t (Tmax)	0,71

Tabla 37. Valores coeficientes para la obtención de kt .

* Se emplea el valor más pequeño por ser el más desfavorable.

Sustituyendo el valor más desfavorable de k_t y los valores de la tabla 35 en la ecuación 3.2.1.11, se obtiene el oxígeno necesario real para ambas temporadas.

PARÁMETRO (kg/día)	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
$O_{2(REAL)}$	4.801	8.460
$O_{2(REAL)}$	200	352
$O_{2(PUNTA)}$	262	466

Tabla 38. Necesidades de oxígeno reales.

- Producción de fangos en exceso: En este caso, el rendimiento mínimo exigido para los sólidos en suspensión total será de un 80%, suponiendo que de estos la fracción de sólidos volátiles es de un 56 %. Los fangos en exceso producidos se obtiene con la ecuación 3.2.1.16.

$$F_{2(SST)} = I' * (C_d - S_p) \quad (3.2.1.16)$$

Siendo:

- $F_{2(SST)}$ = Fangos producidos en el tratamiento biológico (kg/día).
- I' = Índice de producción de fangos ($kg_{(FANGOS)}/kg_{(DBO5) ELIM.}$).
- C_d = Carga diaria entrada planta (kg/día).
- S_p = Carga diaria salida planta o eliminada (kg/día).

El índice de producción de fangos se define con la ecuación 3.2.1.17.

$$I' = (1,2 * C_m^{0,23}) + (0,5 * (R_{(SST/DBO5)} - 0,6)) \quad (3.2.1.17)$$

Siendo:

- C_m = Carga másica ($kg_{(DBO5)}/kg_{(MLSS)}$).
- $R_{(SST/DBO5)}$ = Relación entre los sólidos totales en suspensión y la DBO_5 .

Las cargas diarias de entrada y salida se definen en función de del caudal diario de entrada de la planta y la concentración en mg/L de entrada y salida de DBO_5 , ($[DBO_5]$).

$$C_d, S_p = \frac{[DBO_5] * Q_d}{1000} \quad (3.2.1.18)$$

Para la obtención de los fangos en exceso volátiles, se empleará la ecuación 3.1.6, descrita en el apartado 3.1.

El caudal de fangos a extraer se obtendrá como:

$$Q_{F2} = \frac{F_{2(SST)}}{C_{f2}} \quad (3.2.1.19)$$

Siendo " C_{f2} " la concentración de fangos en exceso a extraer en kg/m^3 .

En la tabla 39 se recogen los valores de estos parámetros, así como la producción final de ambos fangos (totales y volátiles) y el volumen de fangos en exceso a extraer del tratamiento biológico una vez sustituidos dichos parámetros en las ecuaciones citadas anteriormente.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA		TEMPORADA ALTA	
R _(SST/DBO5)	1,14		1,11	
C _m	0,250			
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
[DBO ₅]	126,75	25	159,25	25
C _d (kg/día)	2.535		4.419	
S _p (kg/día)	500		694	
I´	1,14		1,12	
F _{2(SST)} (kg/día)	2.321		4.191	
F _{2(SSV)} (kg/día)	1.300		2.347	
Q _{F2} (m³/día)	387		699	

Tabla 39. Cantidades de producción y extracción de fangos en el tratamiento biológico.

- Recirculación de fangos: Ésta se realizará desde el decantador secundario hacia el reactor biológico. El caudal de recirculación de fangos se representa por la ecuación 3.2.1.20.

$$Q_R = \frac{X * I * Q_{med}}{1000 - (X * I)} \quad (3.2.1.20)$$

Donde:

- Q_R = Caudal de recirculación de lodos (m³/h).
- X = Concentración MLSS en el reactor (kg/m³).
- I = Índice de Mohlman.

Por otro lado, la concentración de recirculación (X_R) se obtiene como:

$$X_R = \frac{Q_R + Q_{med}}{Q_R} \quad (3.2.1.21)$$

Siendo sus unidades en kg/m³.

Los valores de cada parámetro y los resultados de sustituir en las ecuaciones 3.2.1.20 y 3.2.1.21, se resumen en la tabla 40.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
$X \text{ (kg/m}^3\text{)}$	2	3,3
I	200	
$Q_{\text{med}} \text{ (m}^3\text{/h)}$	833	1.156
$Q_R \text{ (m}^3\text{/h)}$	556	771
$X_R \text{ (kg/m}^3\text{)}$	5	5

Tabla 40. Caudales de recirculación de fangos.

3.2.2. PROCESO DE AIREACIÓN PROLONGADA.

- Volumen del reactor: Se realiza el cálculo para aireación prolongada para dos reactores, cuyo volumen se define por la ecuación 3.2.1.1. Sustituyendo los valores correspondientes en dicha ecuación se obtienen los resultados recogidos en la tabla 41.

PARÁMETRO	VALOR
$S_0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$	3,5 - 8
C_m	0,04 – 0,10

Tabla 41. Valores típicos de los parámetros de diseño de un reactor biológico en aireación prolongada.

Se empleará un valor de carga másica de $0,05 \text{ kg}_{\text{DBO}_5}/\text{kg}_{\text{MLSS}}$ y un valor de 4 kg/m^3 de MLSS para ambas temporadas. En el caso del peso de DBO_5 eliminada se tendrá que para temporada baja y alta son de 3.400 kg/día y 6.105 kg/día , respectivamente. Sustituyendo estos valores en la ecuación 3.2.1.1, se tendrá que el volumen total de los reactores para cada temporada es de 17.000 m^3 y 30.525 m^3 .

Con estos resultados, se adopta un volumen unitario de 20.000 m^3 .

- Comprobación límites de los parámetros: Estos parámetros serán los mismos que se comprobaron para el dimensionamiento de fangos activos, por tanto sustituyendo los valores correspondientes en las ecuaciones de dicho apartado se obtendrá los resultados de la tabla 42.

PARÁMETRO	VALOR
t_{RA} (h)	15 – 24
C_v (kg/m ³ /día)	0,14 – 0,40
E (día)	15 – 25
C_m	0,04 – 0,10

Tabla 42. Rango de valores de los parámetros de diseño.

Se tiene por tanto, que sustituyendo en las ecuaciones, los valores para ambas temporadas serán:

PARÁMETRO	VALOR	
	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
t_{RA} (h)	24	26
C_v (kg/m ³ /día)	0,17	0,20
E (día)	16	
C_m	0,05	

Tabla 43. Comprobación de los parámetros de diseño.

En la tabla 43, se observa que todos los valores se encuentran dentro de los límites exigidos de la tabla 42 por lo que se puede dar por válido el dimensionamiento de los reactores cuyas dimensiones unitarias se resumen en la tabla 44.

PARÁMETRO	SÍMBOLO (UNIDAD)	VALOR
Volumen	V_A (m ³)	20.000
Superficie	S_A (m ²)	4.000
Altura de agua	h_A (m)	5
Ancho	a_A (m)	25
Longitud total	L_A (m)	80

Tabla 44. Dimensiones unitarias de los reactores biológicos en aireación prolongada.

3.3. DECANTADOR SECUNDARIO.

El proceso de dimensionamiento de la decantación secundaria es similar a la empleada en la decantación primaria, siendo la única variante, los valores de los parámetros de diseño y sus límites, los cuales se resumen en la tabla 45.

PARÁMETRO	Q_{med}	Q_{punta}	TEMPORADA BAJA		TEMPORADA ALTA	
			Q_{med}	Q_{punta}	Q_{med}	Q_{punta}
V_{asc} (m/h)	$\leq 1,35$	≤ 2	0,8	1,50	0,80	1,50
t_R (h)	≥ 2	$\geq 1,5$	3	2	3	2
C_s	$\leq 6,2$	≥ 2	-	-	-	-

Tabla 45. Parámetros en la decantación secundaria.

- Superficie de decantación: Se obtendrá mediante la velocidad ascensional, la cual se definió en el apartado 3.1. Sustituyendo los valores de la tabla 45 para caudal medio y punta, y los valores de caudales expuestos en el apartado 2.2, se tiene que superficie de decantación total.

CAUDAL (m ³ /h)	SUPERFICIE HORIZONTAL	
	TEMP. BAJA	TEMP. ALTA
Caudal medio	1.042	1.445
Caudal punta	833	1.156

Tabla 46. Superficies horizontales para caudal medio y punta en temporada alta y baja.

Se van a instalar dos decantadores cuyas superficies unitarias son:

CAUDAL (m ³ /h)	SUPERFICIE HORIZONTAL	
	TEMP. BAJA	TEMP. ALTA
Caudal medio	521	723
Caudal punta	417	578

Tabla 47. Superficies horizontales unitarias para caudal medio y punta en temporada alta y baja de los decantadores secundarios.

Mediante la ecuación 3.1.3 se obtendrá el diámetro del decantador siendo la superficie final adoptada por unidad de decantación la obtenida de sustituir en la ecuación 3.1.3 el valor adoptado de diámetro. Los valores teóricos así como los valores finales adoptados se resumen en la tabla 48.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA		TEMPORADA ALTA	
	Q_{med}	Q_{max}	Q_{med}	Q_{max}
d_2 (m)	26	23	30	27
d'_2 (m)	33			
S_{h2} (m ²)	855			

Tabla 48. Dimensiones unitarias decantadores secundarios.

- Volumen de decantación: Sustituyendo en la ecuación 3.1.2, los valores de tiempo de retención de la tabla 45 y los valores de caudales citados en el apartado 2.2, se obtiene que el volumen para ambas temporadas de la decantación secundaria son:

CAUDAL (m ³ /h)	VOLUMEN (m ³)	
	TEMP. BAJA	TEMP. ALTA
Caudal medio	2.500	3.469
Caudal punta	2.500	3.469

Tabla 49. Volúmenes para caudal medio y punta en temporada alta y baja en la decantación secundaria.

En función de estos resultados se concluye que el volumen final adoptado es de 2.500 m³.

- Altura decantación: Para los decantadores secundarios se recomienda que la altura se encuentre entre 3 y 5 m. Sustituyendo los valores adoptados de superficie y volumen para cada caudal en la ecuación 3.1.4, se tiene que las alturas para cada temporada son de 2,9 m y 2 m. Esto quiere decir que los parámetros adoptados no son válidos para que se cumpla las exigencias mínimas de altura; por tanto, se adoptará una altura teórica de 4,10 m, obteniéndose así un volumen unitario de 3.500 m³.

- Comprobación de los parámetros de diseño: Como ocurrió en los decantadores primarios, sustituyendo los valores finales adoptados en las ecuaciones 3.1.1 y 3.1.2, se tendrá que los valores de los parámetros de diseño para esas dimensiones son:

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA		TEMPORADA ALTA	
	Q_{med}	Q_{punta}	Q_{med}	Q_{punta}
V_{asc} (m/h)	0,97	1,46	0,68	1,01
t_R (h)	4,2	5,6	6,05	4,03
C_s	1,95	2,92	2,23	3,35

Tabla 50. Comprobación de los parámetros de diseño del decantador secundario.

Comparando los resultados de la tabla 50, con los límites expuestos en la tabla 45, se llega a la conclusión que las dimensiones obtenidas son válidas.

En la tabla 51, se muestra las dimensiones unitarias de los decantadores secundarios.

PARÁMETRO	SÍMBOLO (UNIDAD)	VALOR
Superficie Horizontal	S_{h2} (m ²)	855
Volumen Decantación	V_2 (m ³)	3.500
Diámetro	d_2 (m)	33
Altura	h_2 (m)	4,10

Tabla 51. Dimensiones unitarias finales adoptadas de los decantadores secundarios.

4. LÍNEA DE FANGOS.

Para el dimensionamiento de los diversos procesos presentes en la línea de fangos, se partirá de los resultados obtenidos en la línea de aguas referente a fangos; es decir, la producción de fangos primarios y los fangos en exceso. En la tabla 52, se muestra a modo de resumen los datos con los cuales se va a trabajar.

PARÁMETRO		TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
FANGOS 1º	$F_{1(SST)} \text{ (kg/día)}$	4.320	7.326
	$F_{1(SSV)} \text{ (kg/día)}$	2.808	4.762
	$Q_{F1} \text{ (m}^3\text{/día)}$	432	733
FANGOS EXCESO	$F_{2(SST)} \text{ (kg/día)}$	2.321	4.191
	$F_{2(SSV)} \text{ (kg/día)}$	1.300	2.347
	$Q_{F2} \text{ (m}^3\text{/día)}$	387	699
FANGOS MIXTOS	$F_{M(SST)} \text{ (kg/día)}$	6.641	11.517
	$F_{M(SSV)} \text{ (kg/día)}$	4.108	7.109
	$Q_{FM} \text{ (m}^3\text{/día)}$	112	197
	$C_{fe} \text{ (kg/m}^3\text{)}^*$	80	
	$C_{ff} \text{ (kg/m}^3\text{)}^{**}$	40	
	$C_{fm} \text{ (kg/m}^3\text{)}^{***}$	59,3	58,7

Tabla 52. Datos de partida de la línea de aguas.

* Concentración de fangos a espesador.

** Concentración de fangos a flotador.

*** Concentración de fangos mixtos.

4.1. ESPESADOR POR GRAVEDAD.

- Volumen del espesador: El volumen del espesador viene definido como el producto entre el caudal de fangos en la entrada del espesador y el tiempo de retención de los fangos (ecuación 4.1.1).

$$V_{EG} = Q_{F1} * t_{R(EG)} \quad (4.1.1)$$

Siendo:

- V_{EG} = Volumen del espesador (m^3).
- Q_{F1} = El caudal diario de fangos primarios que entran en el espesador ($m^3\text{/día}$).
- $t_{R(EG)}$ = Tiempo de retención (h).

El caudal diario de fangos primarios para ambas temporadas se resume en la tabla 52. Sin embargo, en el caso del tiempo de retención, es necesario limitar los tiempos para evitar el comienzo de la anaerobiosis de los fangos. El tiempo de retención normalmente empleados son de 24 horas, tomándose medidas antiolores tales como cubiertas en los decantadores de espesamiento. Se instalarán dos espesadores de gravedad. En la tabla 53, se resumen los valores unitarios adoptados y los resultados de volumen finales al sustituir en la ecuación 4.1.1.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
Q_{F1} (m ³ /día)	432	733
$t_{R(EG)}$ (h)	≤ 24	
V_{EG} (m ³)	216	183

Tabla 53. Parámetros de diseño y volumen del espesador de gravedad.

En función de los resultados obtenidos, se tendrá dos unidades de espesamiento por gravedad de 216 m³.

- Superficie del espesador: La superficie se obtendrá mediante la ecuación 4.1.2.

$$S_{EG} = \frac{Q_{F1}}{C_{H(EG)}} \quad (4.1.2)$$

Siendo:

- S_{EG} = Superficie espesador por gravedad (m²).
- $C_{H(EG)}$ = Carga hidráulica (m³/m²/h).

La carga hidráulica posee ciertas limitaciones en sus valores, en función del origen del fango a espesar, siendo este valor límite para los fangos primarios inferior o igual a 1,40 m³/m²/h.

En el caso del caudal diario de entrada de fangos, se establece que el bombeo de fangos al espesador sea de 24 horas al día.

En la tabla 54, se resumen los valores unitarios adoptados y los resultados finales de superficie unitaria al sustituir en la ecuación 4.1.2.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
Q_{F1} (m ³ /día)	18	16
$C_{H(EG)}$ (m ³ /m ² /h)	0,50	0,50
S_{EG} (m ²)	36	30,53

Tabla 54. Parámetros de diseño y superficie del espesador de gravedad.

Se calcula el diámetro de cada unidad mediante la ecuación 4.1.3.

$$d_{EG} = \sqrt{\frac{S_{EG} * 4}{\pi}} \quad (4.1.3)$$

Siendo “ d_{EG} ” el diámetro del espesador en metros. Sustituyendo los valores de superficie obtenidos en la tabla 54 y tomando como valor de “PI” 3,1415, se tiene que los valores de diámetros son de 7 y 6 metros, adoptándose como valor final 7 m de diámetro por espesador.

Sustituyendo el valor adoptado y despejando la superficie en la ecuación 4.1.3 se obtiene que la superficie final unitaria adoptada sea de 40 m².

- Altura del espesador: La altura del espesador se obtendrá como:

$$h_{EG} = \frac{V_{EG}}{S_{EG}} \quad (4.1.4)$$

Siendo “ h_{EG} ” la altura del espesador en metros. Sustituyendo los valores finales unitarios adoptados se tendrá que la altura del espesador es de 5,40 metros. El valor recomendado de altura se encuentra comprendido entre los valores de 2,50 y 4 metros, pudiendo darse este valor como válido a pesar de superar lo recomendable.

- Comprobación de los parámetros de diseño: Sustituyendo los valores finales adoptados y despejando los parámetros necesarios en las ecuaciones 4.1.1 y 4.1.2, se obtendrá los valores de dichos parámetros para las dimensiones adoptadas.

En el caso de la comprobación de la carga de sólidos, se hará uso de la ecuación 4.1.5.

$$C_{\text{SOL(EG)}} = \frac{F_{1(\text{SST})}}{S_{\text{EG}}} \quad (4.1.5)$$

Los valores obtenidos se resumen en la tabla 55.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
$t_{\text{R(EG)}} \text{ (h)}$	12	14,15
$C_{\text{H(EG)}} \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{/h)}$	0,50	0,59
$C_{\text{SOL(EG)}} \text{ (kg/m}^2\text{/día)}$	108	91,5

Tabla 55. Comprobación de los parámetros de diseño.

- Concentración fangos espesados: El caudal final de fangos concentrados que pasarán a ser deshidratados se obtiene por la ecuación 4.1.6.

$$Q_{\text{F(EG)}} = \frac{F_{1(\text{SST})}}{C_{\text{F(EG)}}} \quad (4.1.6)$$

Siendo:

- $Q_{\text{F(EG)}} =$ Caudal de fangos espesado ($\text{m}^3\text{/día}$).
- $C_{\text{F(EG)}} =$ Concentración de fangos espesados (kg/m^3).

Suponiendo una concentración de espesamiento de fangos del 80 kg/m^3 , se tendrá que los caudales finales espesados para temporada baja y alta son de $54 \text{ m}^3\text{/día}$ y $92 \text{ m}^3\text{/día}$, respectivamente.

4.2. ESPESADOR POR FLOTACIÓN.

- Superficie espesador: Para poder obtener la superficie necesaria de una espesador por flotación, se debe tener en cuenta el caudal de recirculación (ecuación 4.2.1).

$$S_{EF} = \frac{Q_{F2} + Q_{RF}}{C_{H(EF)}} \quad (4.2.1)$$

Donde:

- S_{EF} = Superficie del espesador (m^2).
- Q_{F2} = Caudal horario de fangos en exceso o secundarios que entran en el espesador (m^3/h).
- $C_{H(EF)}$ = Carga hidráulica ($m^3/m^2/h$).
- Q_{RF} = Caudal horario de recirculación (m^3/h).

El caudal de recirculación se calculará mediante la siguiente expresión:

$$Q_{RF} = k'' * Q_{F2} \quad (4.2.2)$$

Donde “k''” se trata de un caudal de recirculación adoptado de 1,5.

En el caso de la carga hidráulica, se recomienda unos valores comprendido entre 3 y 5 $m^3/m^2/h$, ya que si ésta supera el valor de 25 $m^3/m^2/h$, puede provocar turbulencias, afectando a la capa de fangos flotantes volviéndose inestable. En estos casos es necesaria la adición de una sustancia, denominada polielectrolito.

Para el caudal de entrada de fangos, se establece que las horas de funcionamiento del espesador serán de 16 horas al día.

En la tabla 56 se encuentra los resultados obtenidos.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
$Q_{RF} (m^3/h)$	36,26	32,74
$Q_{F2} (m^3/h)$	24,17	21,83
$C_{H(EF)} (m^3/m^2/h)$	3	
$S_{EF} (m^2)$	20,14	18,19

Tabla 56. Parámetros de diseño y superficie unitaria del espesador por flotación.

Se adopta una superficie por espesador de 25 m² puesto que si se emplea uno menor los parámetros no cumplirán.

- Volumen del espesador: El volumen del espesador se define como el producto de la altura del espesador y su superficie adoptada.

$$V_{EF} = S_{EF} \cdot h_{EF} \quad (4.2.3)$$

Donde:

- V_{EF} = Volumen del espesador por flotación (m³).
- h_{EF} = Altura del espesador por flotación (m).

Para la altura se adoptará un valor de 3 metros y sustituyendo en la ecuación 4.2.3 el valor de superficie final adoptada se obtendrá un volumen de espesador unitario de 75 m³.

- Comprobación de los parámetros de diseño: Para la comprobación de dichos parámetros, se empleará las ecuaciones 4.2.1, 4.2.4 y 4.2.5.

$$t_{R(EF)} = \frac{V_{EF}}{Q_{F2} + Q_{RF}} \quad (4.2.4)$$

$$C_{SOL(EF)} = \frac{F_{2(SST)}}{S_{EF} \cdot N^{\circ}. \text{Unidades Funcionamiento}} \quad (4.2.5)$$

Los valores obtenidos se resumen en la tabla 57.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
$t_{R(EF)}$ (h)	1,24	1,37
$C_{H(EF)}$ (m ³ /m ² /h)	3	3
$C_{SOL(EF)}$ (kg/m ² /día)	92,84	83,82

Tabla 57. Comprobación de los parámetros de diseño.

Los valores de la tabla 57 cumplen con los límites y rangos recomendados por bibliografía por lo que se puede dar por válidas las dimensiones.

- Concentración fangos espesados: El caudal final de fangos concentrados que pasarán a ser deshidratados se obtiene por la ecuación 4.2.6.

$$Q_{F(EF)} = \frac{F_{2(SST)}}{C_{F(EF)}} \quad (4.2.6)$$

Siendo:

- $Q_{F(EF)}$ = Caudal de fangos espesado ($m^3/día$).
- $C_{F(EF)}$ = Concentración de fangos espesados (kg/m^3).

Suponiendo una concentración de espesamiento de fangos del $40 kg/m^3$, se tendrá que los caudales finales espesados para temporada baja y alta son de $58 m^3/día$ y $105 m^3/día$, respectivamente.

4.3. DIGESTOR ANAERÓBIO.

- Volumen de digestor: El volumen del espesador se define como el producto entre el caudal diario de entrada y el tiempo de retención. El caudal que se incorpora diariamente al digestor será la suma de los caudales procedentes de ambos espesadores (ecuación 4.3.1).

$$V_D = Q_{FM} \cdot t_{RD} \quad (4.3.1)$$

Donde:

- V_D = Volumen del digestor (m^3).
- Q_{FM} = Caudal de fangos mixtos ($m^3/día$).
- t_{RD} = Tiempo de retención en el digestor (días).

El caudal de fangos que entrarán en el digestor para ambas temporadas se encuentra en la tabla 52. En el caso del tiempo de retención de los fangos en el digestor, se recomienda que estos se encuentren entre 10 y 20 días en función de la temporada en la que se encuentre.

La tabla 58 resumen los resultados obtenidos.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
t_{RD} (día)	20	15
V_D (m ³)	2.240	2.945

Tabla 58. Tiempo de retención y volumen del digestor.

Se adoptará finalmente un volumen de digestor de 3.000 m³.

- Superficie del digestor: Esta se define como el cociente entre el volumen del digestor y su altura (ecuación 4.3.2).

$$S_D = \frac{V_D}{h_D} \quad (4.3.2)$$

Donde:

- S_D = Superficie de digestión (m²).
- h_D = Altura de digestión (m).

Adoptando una altura de 10 metros y empleando el volumen adoptado, sustituyendo en la ecuación 4.3.2, se tiene que la superficie de digestión es de 300 m².

Para la obtención del diámetro, empleándose la ecuación 4.1.3 se obtendrá un diámetro de 9,8 m, adoptándose un diámetro final de 10 m.

- Comprobación de los parámetros de diseño: Para la comprobación de dichos parámetros, se empleará las ecuaciones 4.3.3 y 4.3.4.

$$t_D = \frac{V_D}{Q_{FM}} \quad (4.3.3)$$

$$C_{SOL(D)} = \frac{F_{2(SSV)}}{V_D} \quad (4.3.4)$$

Los valores obtenidos se resumen en la tabla 59.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
t_D (día)	26,8	15,28
$C_{SOL(D)}$ (kg/m ² /día)	1,37	2,37

Tabla 59. Comprobación de los parámetros de diseño.

- Calentamiento del digestor: Para el calentamiento del digestor se adopta los valores de diseño de la tabla 60.

PARÁMETRO		VALOR
Temperatura (°C)	Digestión (T_D)	35
	Fangos Frescos (T_F)	12
	Aire (T_A)	0
	Suelo (T_S)	6
Coeficientes de conductividad (kcal /hm ² .°C)	Cúpula (k_C)	0,44
	Pared cilíndrica sobre terreno (k_P)	0,43
	Pared cilíndrica bajo terreno (k_E)	0,44
	Solera (k_S)	2,20
Espesores (cm)	Hormigón en cúpula	30
	Hormigón pared vertical	35
	Hormigón solera	35
	Hormigón en masa	20
	Capa espuma poliuretano	4

Tabla 60. Valores de diseño del calentamiento del digestor.

La cantidad de calor necesaria para el calentamiento de los fangos en condiciones extremas se define como:

$$Q_{FANGO} = \frac{Q_{FM} \cdot 1000 \cdot (T_D - T_F)}{24} \quad (4.3.5)$$

Sustituyendo valores se obtiene que para temporada baja y alta, el calor necesario es de 107.325 kcal/h y 188.128 kcal/h, respectivamente.

- Pérdidas de calor: Para la obtención de las pérdidas de calor se empleará la expresión general 4.3.6.

$$q = S \cdot K \cdot \Delta T \quad (4.3.6)$$

Donde:

- q = Pérdidas de calor (kcal/h).
- S = Superficie (m^2).
- k = Coeficiente de conductividad (kcal / $hm^2 \cdot ^\circ C$).
- ΔT = Variación de temperatura ($^\circ C$).

Las pérdidas de calor en el digestor ocurren en diferentes zonas. Estas pérdidas y sus valores se resumen en la tabla 61.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
Pared sobre terreno (S_P (m^2))	439	
Pared bajo terreno (S_E (m^2))	189	
Cúpula (S_C (m^2))	322	
Solera (S_S (m^2))	339	
q_C (kcal/h)	4.838	
q_P (kcal/h)	6.619	
q_E (kcal/h)	2.405	
q_S (kcal/h)	20.043	

Tabla 61. Pérdidas de calor en el digestor anaeróbico.

Las pérdidas de calor totales son de 33.906 Kcal/h.

- Capacidad del intercambiador de calor: Se define como el cociente entre la cantidad de calor necesaria para el calentamiento del fango fresco y la eficiencia del intercambiador (ecuación 4.3.7).

$$Q_I = \frac{Q_{\text{CALOR}}}{EI} \quad (4.3.7)$$

Donde:

- Q_I = Capacidad del intercambiador de calor (Kcal/h).
- Q_{CALOR} = Calor necesario para mantener temperatura del digestor (Kcal/h).
- EI = Eficiencia del intercambiador (%).

El calor necesario para mantener la temperatura del digestor se define como:

$$Q_{\text{CALOR}} = Q_{\text{FANGO}} + Q_{\text{PERDIDAS TOTAL}} \quad (4.3.8)$$

Sustituyendo en las ecuaciones 4.3.7 y 4.3.8, se obtiene el valor final de todos los parámetros, así como la capacidad del intercambiador de calor.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
Q_{CALOR} (kcal/h)	151.963	240.847
EI (%)	90	
Q_I (kcal/h)	168.848	267.608

Tabla 62. Demandas térmicas y calor necesario del intercambiador de calor.

En base a lo obtenido, se concluye que en temporada baja será necesario un calor de 170.000 Kcal/h y en temporada alta, 270.000 Kcal/h.

- Almacenamiento del biogás y antorcha: El consumo de biogás total en las calderas se obtiene mediante la ecuación 4.3.9.

$$Q_{GAS} = \frac{Q_I}{\eta_{COMBUSTIÓN} \cdot \text{Poder Calorífico Biogás}} \quad (4.3.9)$$

Donde:

- Q_{GAS} = Consumo total de gas en las calderas ($m^3.N/h$).
- $\eta_{COMBUSTIÓN}$ = Rendimiento global para la combustión del biogás (%).
- Poder calorífico del biogás ($Kcal/m^3$).

En el caso del almacenamiento y quemador del biogás se tiene que:

$$P_{GAS} = P_{TEÓRICO} \cdot V_{GAS} \quad (4.3.10)$$

Donde:

- P_{GAS} = Producción horarias de biogás ($m^3.N/h$).
- $P_{TEÓRICO}$ = Producción teóricas de biogás ($m^3.N/kg$).
- V_{GAS} = Volumen de gas producidos ($m^3.N/h$).

El volumen de gas producido se define como el cociente entre la cantidad de fangos orgánicos a la entrada del digestor y la reducción de dicha materia.

$$V_{GAS} = F_{M(SSV)} \cdot \text{Reducción SSV} \quad (4.3.11)$$

El volumen de gas que se encontrará en exceso será la diferencia entre el gas producido y el gas consumido.

$$EG = P_{GAS} - Q_{GAS} \quad (4.3.12)$$

Finalmente, sustituyendo en las ecuaciones, se obtiene los resultados mostrados en la tabla 63.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
$\eta_{\text{COMBUSTIÓN}} (\%)$	85	
Poder Calorífico Biogás	5.000	
$Q_{\text{GAS}} (\text{m}^3.\text{N/h})$	867	1.374
$P_{\text{TEÓRICO}} (\text{m}^3.\text{N/kg})$	1	
Reducción _(SSV)	45	
$V_{\text{GAS}} (\text{m}^3.\text{N/h})$	1.848	3.199
$P_{\text{GAS}} (\text{m}^3.\text{N/h})$	1.848	3.199
EG ($\text{m}^3.\text{N/h}$)	982	1.825

Tabla 63. Resultados referentes al biogás.

El volumen necesario del gasómetro se obtiene en función del tiempo que se tenga almacenado el biogás. Suponiendo que la capacidad de almacenamiento son 12 horas de producción diaria, se tendrá que el volumen del gasómetro en función de la temporada es de 924 m³ y 1.599 m³. Se toma como valor definitivo que el volumen del gasómetro será de 930 m³. Puesto que en temporada alta el volumen debe ser mayor, se reducirá las horas de almacenamiento del gas.

La capacidad de combustión de la antorcha de quemado será superior a un 25 %.

4.4. DESHIDRATADOR.

- Fangos procedentes de la digestión: Estos fangos se obtienen mediante la ecuación 4.4.1.

$$F_{\text{DIG}(\text{SST})} = F_{\text{M}(\text{SSI})} + \eta * F_{\text{M}(\text{SSV})} \quad (4.4.1.)$$

Donde:

- $F_{\text{DIG}(\text{SST})}$ = Fangos procedentes de la digestión (kg_(SST)/día).
- $F_{\text{M}(\text{SSI})}$ = Fangos mixtos inertes de entrada a la digestión (kg_(SSI)/día).
- η = Rendimiento digestión (%).

- $F_{M(SST)} = \text{Fangos mixtos totales de entrada a la digestión (kg}_{(SST)}/\text{día)}.$

En la tabla 64 se resumen los resultados obtenidos.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
$F_{M(SSl)} \text{ (kg/día)}$	2.533	4.408
$F_{M(SST)} \text{ (kg/día)}$	4.108	7.109
$\eta \text{ (\%)}$	60	
$F_{DIG(SST)} \text{ (kg/día)}$	4.998	8.673

Tabla 64. Fangos procedentes de la digestión anaeróbica.

La concentración de fangos digeridos será:

$$C_{F(DIG)} = \frac{F_{M(SSV)}}{Q_{FM}} \quad (4.4.2.)$$

Sustituyendo, se tiene que la concentración de fangos en temporada baja y alta es de 36,7 kg/m³ y 36,2 kg/m³, respectivamente.

- Condiciones de funcionamiento: Se empleará un sistema de filtro banda cuyas condiciones de funcionamiento son las siguientes (tabla 65)

PARÁMETRO		VALOR
Concentración Fango deshidratado	$C_{F(DESH)} \text{ (\%)}$	25
Días de trabajo a la semana	$d_s \text{ (días/semana)}$	5
Horas funcionamiento diarias	$h_D \text{ (h/día)}$	8

Tabla 65. Condiciones de funcionamiento de los deshidratadores mediante filtros banda.

- Depósito tampón de fangos digeridos: El volumen de dichos depósitos se define como el producto entre el tiempo de retención de los fangos y el caudal de fangos de llegada (ecuación 4.4.3).

$$V_{\text{DEP}} = t_{\text{R(FANGO)}} * Q_{\text{DESH}} \quad (4.4.3)$$

Donde:

- V_{DEP} = Volumen del depósito (m^3).
- $t_{\text{R(FANGO)}}$ = Tiempo de retención de los fangos en el depósito (días).
- Q_{DESH} = Caudal de deshidratación ($\text{m}^3/\text{día}$).

El caudal de deshidratación se define como el cociente entre los fangos procedentes de la digestión y la concentración de fangos digeridos (ecuación 4.4.4)

$$Q_{\text{DESH}} = \frac{F_{\text{DIG(SST)}}}{C_{\text{F(DIG)}}} \quad (4.4.4)$$

Donde “ Q_{DESH} ” es el caudal deshidratado en m^3/d .

Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 66.

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
$C_{\text{F(DIG)}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	36,7	36,2
$F_{\text{DIG(SST)}} \text{ (kg/día)}$	4.998	8.673
$t_{\text{R(FANGO)}} \text{ (día)}$	3	2
$Q_{\text{DESH}} \text{ (m}^3/\text{día)}$	136,3	239,6
$V_{\text{DEP}} \text{ (m}^3\text{)}$	408,9	479,2

Tabla 66. Valores del volumen y parámetros de diseño del depósito de almacenamiento de fangos.

En función de los resultados obtenidos se instalarán dos unidades de 500 m^3 , con una altura y diámetro de 5 m y 12 m, respectivamente.

- Caudales de dimensionamiento: La horas de funcionamiento semanal de deshidratación son (ecuación 4.4.5).

$$H_F = d_S * h_D \quad (4.4.5)$$

Donde “H_F” son las horas de funcionamiento semanal en horas/semana. Sustituyendo los valores de la tabla 65, se tiene un funcionamiento de 40 h/semanales.

El caudal diario por día realmente trabajado es (ecuación 4.4.6):

$$Q_{SECO} = \frac{Q_{DESH} * 7 \text{ días}}{d_S} \quad (4.4.6)$$

Donde “Q_{SECO}” será el caudal de secado diario en m³/d.

El caudal por horas diarias realmente trabajadas será (ecuación 4.4.7)

$$Q'_{DESH} = \frac{Q_{SECO}}{h_D} \quad (4.4.7)$$

Donde “Q_{SECO}” será el caudal de secado horario en m³/h.

La carga de fango por día trabajo por tanto es (ecuación 4.4.8)

$$C_{FANGO} = \frac{F_{DIG(SST)} * 7 \text{ días}}{d_S} \quad (4.4.8)$$

Donde “C_{FANGO}” es la carga de fango secado en m³/d.

Los caudales adoptados finalmente son (tabla 67).

PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
$Q_{\text{DESH}} \text{ (m}^3/\text{h)}$	136,3	239,6
$Q_{\text{SECO}} \text{ (m}^3/\text{día)}$	190,8	335,4
$Q'_{\text{DESH}} \text{ (m}^3/\text{día)}$	23,9	41,9
$C_{\text{FANGO}} \text{ (m}^3/\text{día)}$	6.997	12.143

Tabla 67. Caudales de dimensionamiento del deshidratador.

Se instalarán dos unidades de filtros bandas por lo que el caudal unitario de entrada en cada uno será de 12 m³/h en temporadas bajas y 21 m³/h en temporadas altas.

La concentración del fango deshidratado en materia debe ser del 25 %, por tanto el volumen de fangos deshidratados al día es de 28 m³/d y 48,6 m³/d para temporadas bajas y altas, respectivamente.

- Dosificación de polielectrolito: El polielectrolito es una sustancia que ayuda a los fangos a eliminar el exceso de agua todavía presente en los fangos digeridos que pasan a la deshidratación. El caudal diario que se empleará así como el consumo de polielectrolito al día y la dosificación se obtienen como:

$$Q_{\text{POLI}} = \frac{C_{\text{POLI}}}{[C_{\text{POLI}}]} \quad (4.4.9)$$

$$C_{\text{POLI}} = \frac{F_{\text{DIG(SST)}} * D_{\text{POLI}} * 7/5}{1000} \quad (4.4.10)$$

Donde:

- Q_{POLI} = Caudal diario de disolución de polielectrolito (m³/d).
- C_{POLI} = Consumo diario de polielectrolito (kg/d).
- $[C_{\text{POLI}}]$ = Concentración del polielectrolito (kg/m³).
- D_{POLI} = Dosificación de polielectrolito (kg/T.m.s).

La concentración de polielectrolito variará en función del polielectrolito seleccionado y la dosificación de polielectrolito debe estar comprendida entre los valores de 3,5 y 5 kg/T.m.s.

En la tabla 68 se resumen los resultados previstos a obtener para un polielectrolito comercial.

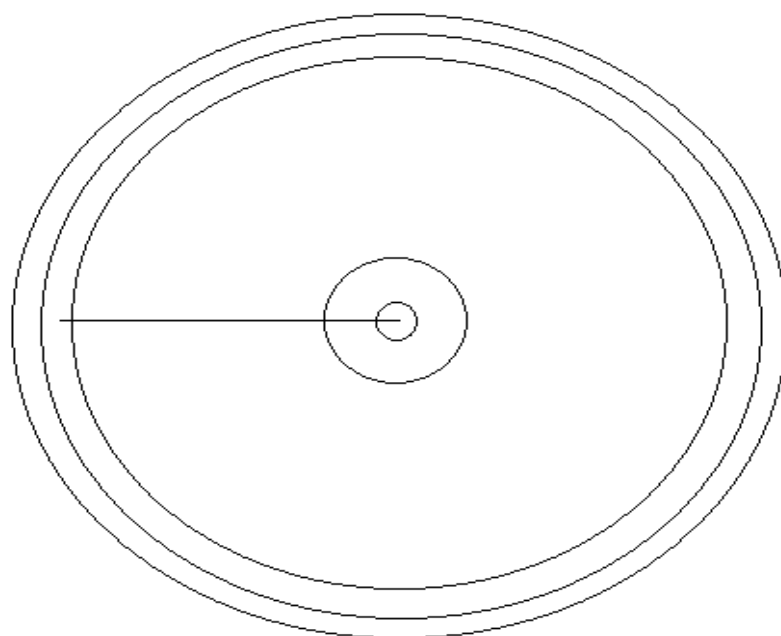
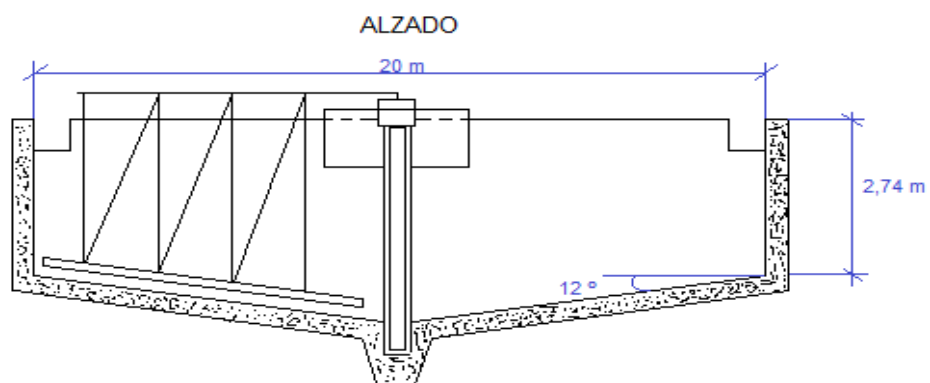
PARÁMETRO	TEMPORADA BAJA	TEMPORADA ALTA
$D_{POLI}(\text{kg/T.m.s})$	5	
$[C_{POLI}] (\text{kg/m}^3)$	5,5	
$C_{POLI} (\text{kg/d})$	35	60,7
$Q_{POLI} (\text{m}^3/\text{d})$	4,37	7,59

Tabla 68. Dosificación y caudal de consumo horario máximo de polielectrolito.

IV. PLANOS

INDICE: PLANOS

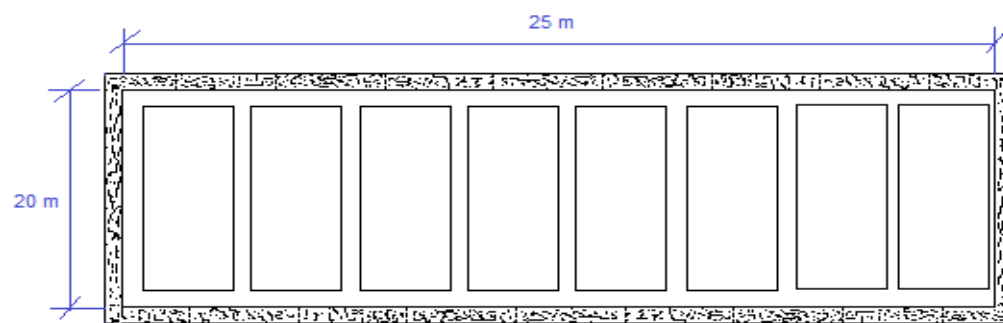
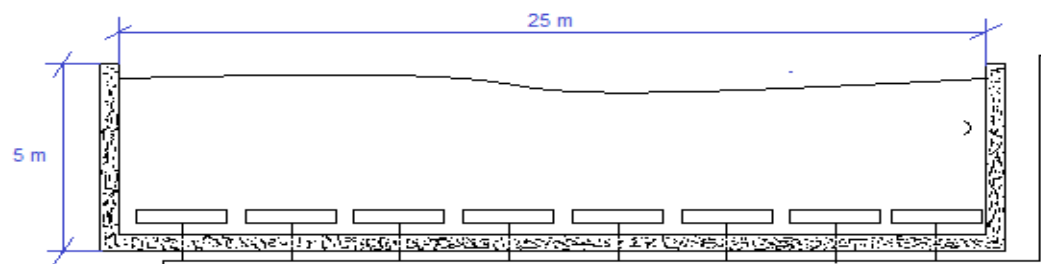
1. PLANO1: Decantador primario.....	5
2. PLANO 2: Reactor biológico.....	7
3. PLANO 3: Decantador secundario.....	9
4. PLANO 4: Espesador por gravedad.....	11
5. PLANO 5: Espesador por flotación.....	13
6. PLANO 6: Digestor anaeróbico.....	15



PLANTA

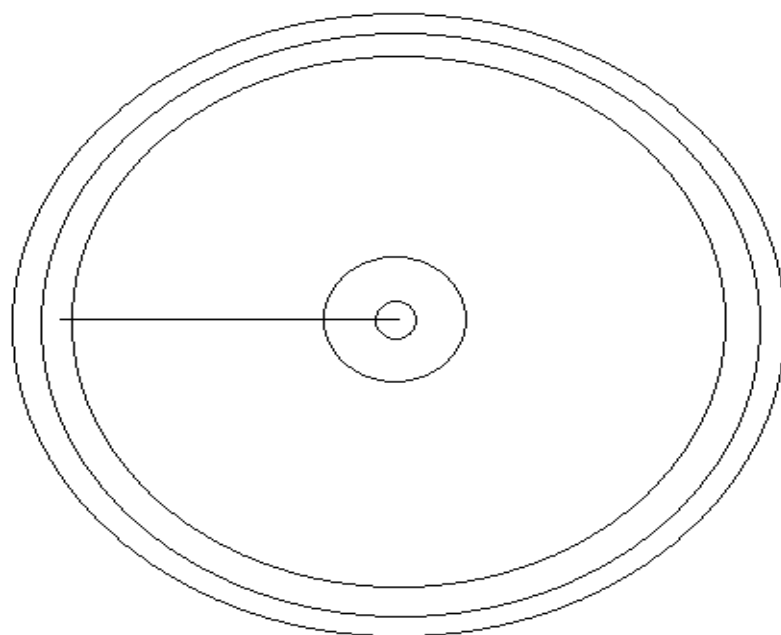
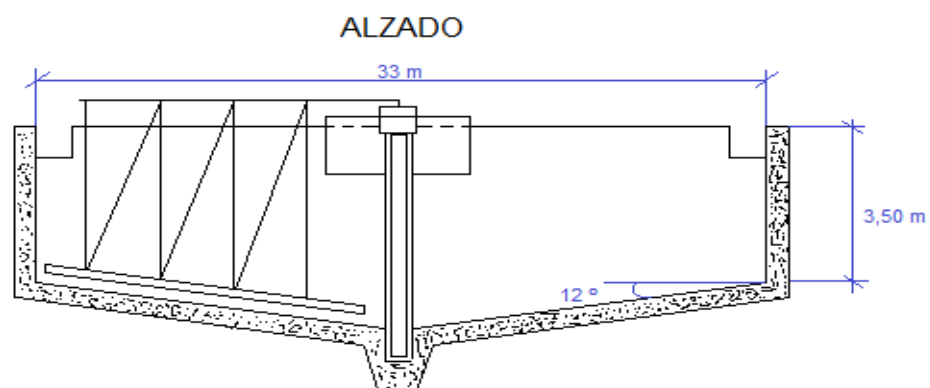
	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Dibujado	04/01/2020	Tamara Saenz Rondan	
Comprob.			DISEÑO EDAR CONVENCIONAL F.A.
ESCALA	DECANTADOR PRIMARIO		PLANO Nº 1/6

ALZADO



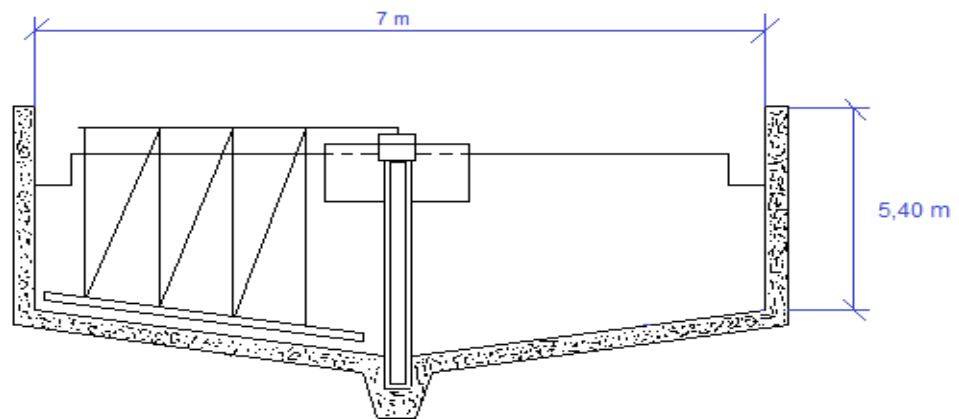
PLANTA

	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Dibujado	04/01/2020	Tamara Saenz Rondan	
Comprob.			DISEÑO EDAR CONVENCIONAL F.A.
ESCALA	REACTOR BIOLÓGICO		PLANO Nº 2/6

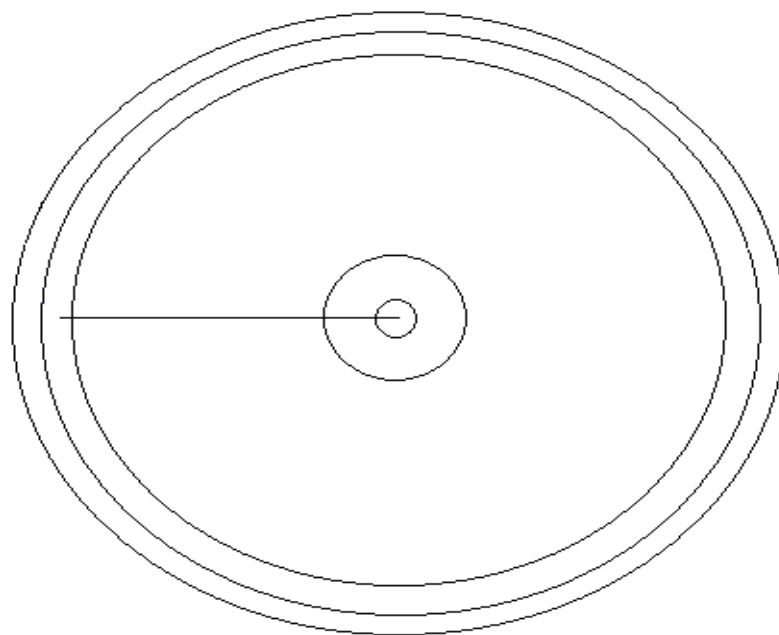


PLANTA

	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Dibujado	04/01/2020	Tamara Saenz Rondon	
Comprob.			DISEÑO EDAR CONVENCIONAL F.A.
ESCALA	DECANTADOR SECUNDARIO		PLANO N° 3/6

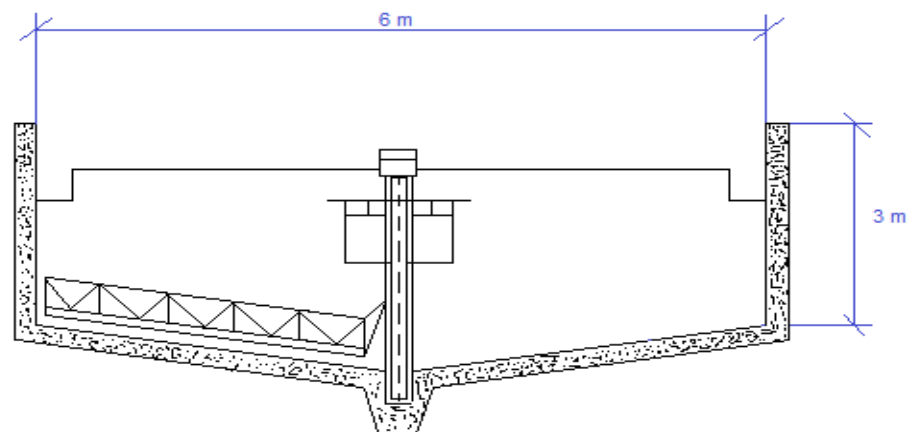


ALZADO

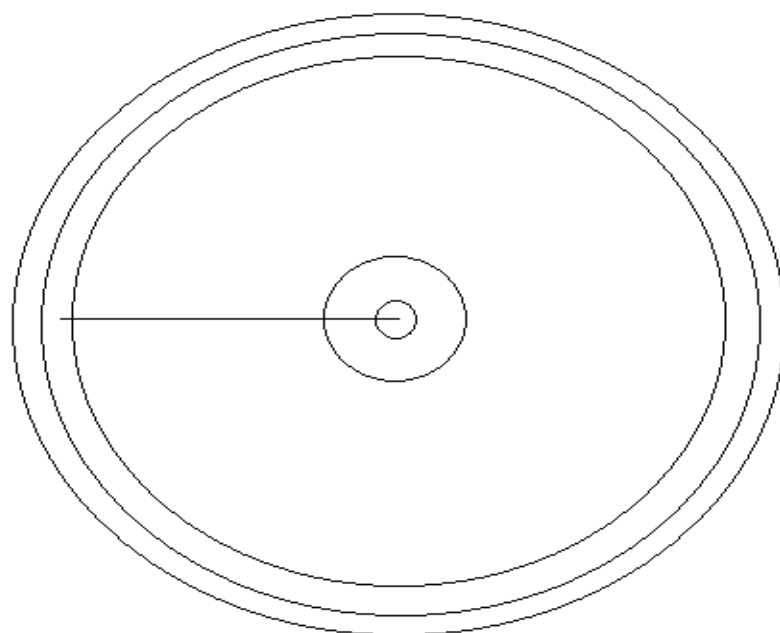


PLANTA

	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Dibujado	04/01/2020	Tamara Saenz Rondan	
Comprob.			DISEÑO EDAR CONVENCIONAL F.A.
ESCALA	ESPESADOR GRAVEDAD		PLANO N° 4/6

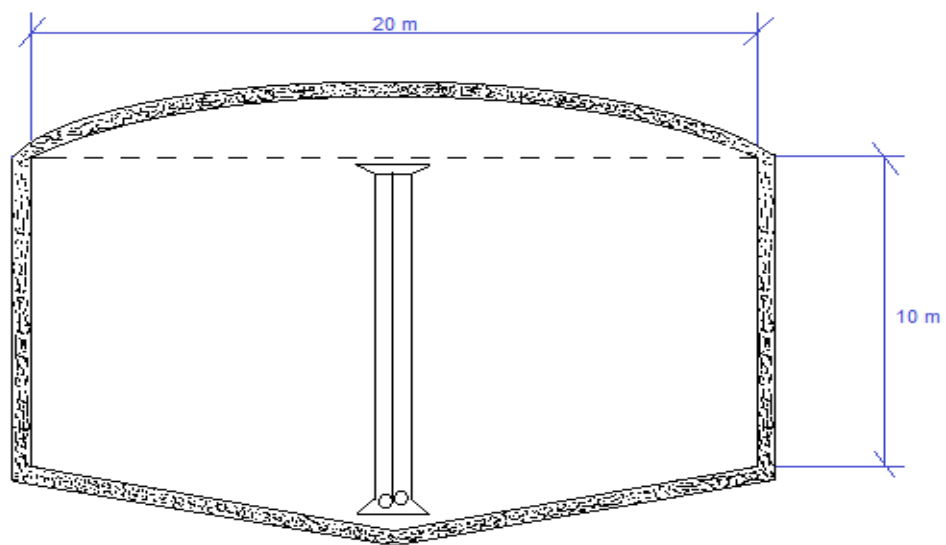


ALZADO

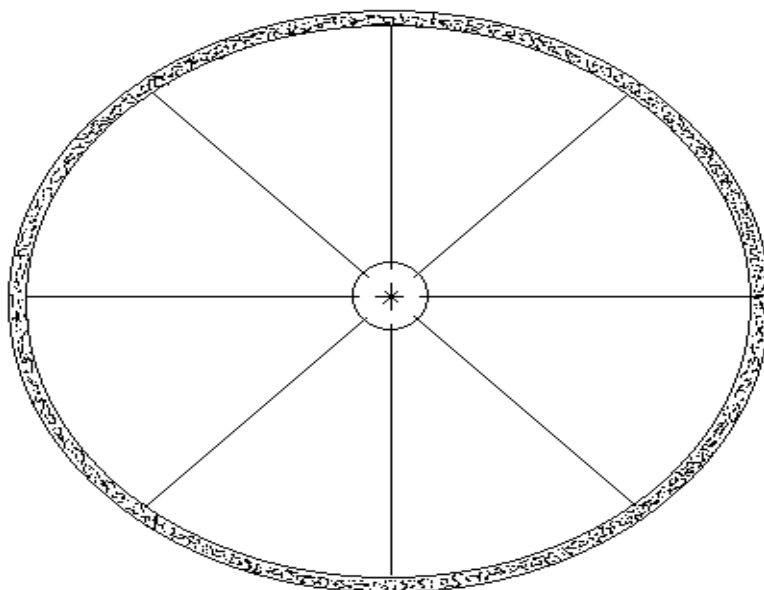


PLANTA

	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Dibujado	04/01/2020	Tamara Saenz Rondan	DISEÑO EDAR CONVENCIONAL F.A.
Comprob.			
ESCALA	ESPESADOR POR FLOTACIÓN		PLANO Nº 5/6



ALZADO



PLANTA

	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Dibujado	04/01/2020	Tamara Saenz Rondan	
Comprob.			DISEÑO EDAR CONVENCIONAL F.A.
ESCALA	DIGESTOR ANAERÓBICO		PLANO Nº 6/6

